

Tesis Doctoral

La rehabilitación energética en la arquitectura escolar Hacia el edificio rehabilitado nZEB

AUTOR

José Manuel Castro Vázquez

DIRECTOR

María Jesús Dios Viéitez

TUTOR

María Jesús Dios Viéitez



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

PROGRAMA OFICIAL DE DOCTORADO EN ARQUITECTURA Y REHABILITACION

2017

V.º B.º DEL TUTOR DE LA TESIS

María Jesús Dios Viéitez

V.º B.º DEL DIRECTOR DE LA TESIS

María Jesús Dios Viéitez

EL DOCTORANDO

José Manuel Castro Vázquez



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

PROGRAMA OFICIAL DE DOCTORADO EN ARQUITECTURA Y REHABILITACION

2017

A mis padres.
A Ana y nuestro hijo.

"Pensemos en un hombre, situado bajo un árbol, que habla a otros sobre algo de lo que se ha percatado es decir, un profesor. Él mismo no sabía que era un profesor, y quienes le escuchaban no se consideraban alumnos o estudiantes, sencillamente estaban allí, y les gustaba la experiencia de estar en presencia de alguien que se había percatado de algo: un sentido del orden. Así es como empezó todo".

KAHN, L. *Las nuevas fronteras de la arquitectura*, discurso de clausura en el CIAM de Otterlo, 1959.

"Que estudien mucho antes de fingir que hacen arquitectura porque han olvidado lo más importante: que el arquitecto no es un prestidigitador o un dibujante de sueños sino aquél que posee unos conocimientos técnicos que el hombre necesita para resolver sus problemas".

SAÉNZ DE OIZA, F.J. 1993

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a todas las personas que me han ayudado en la elaboración de este trabajo. En primer lugar, a la *Escuela de Arquitectura da Coruña* por darme su apoyo tanto técnico como profesional para realizar mi tesis doctoral.

A la *Escuela de Arquitectura de Navarra*, por el aprendizaje recibido en el *Máster en Diseño y Gestión Ambiental* que me ha servido de lanzadera para mi investigación; así como agradecer especialmente a Isabel Durá Gúrpide la consulta de su excepcional tesis doctoral. A la *Escuela de Arquitectura de la Universidad Camilo José Cela*, por la oportunidad de desarrollar durante estos años mi labor docente como profesor de la asignatura *Instalaciones Sostenibles*. El trabajo con mis compañeros e intercambio de ideas me ha permitido enriquecer el trabajo final.

Agradecer a la *Consellería de Educación de la Xunta de Galicia* el acceso a los centros escolares y a los trabajadores de las *Unidades Técnicas Provinciales* por su dedicación y tiempo. Pero especialmente, a los profesores de los centros que visité por su colaboración y cercanía conmigo. Es un orgullo verlos trabajar y son un claro ejemplo del tesón de mi tierra gallega.

Asimismo, agradecer a Laura y José Antonio haberme dado mi primera oportunidad como arquitecto y sus consejos en estos años. Y a Laura, Iñaki e Iñigo por sus ánimos y ayuda.

Dejar constancia de mi agradecimiento a mi directora de tesis, María Jesús Dios Viéitez, por su confianza y dedicación, así como por su tiempo y rectitud en sus críticas que me han permitido llegar al resultado final.

Finalmente, darle las gracias a mis padres por ser mis maestros en esta vida y enseñarme que con esfuerzo y constancia se pueden alcanzar cualquier meta. Gracias por aconsejarme y animarme a que empezara esta aventura llamada tesis.

Y, sobre todo, gracias a Ana, por apoyarme en los momentos más difíciles porque sin ella esto no podría haber sido realidad. A tu lado todo es más fácil, este trabajo es tuyo.

RESUMEN

El sector de la construcción se ha caracterizado históricamente por sus grandes consumos energéticos y altas emisiones de CO₂. Por este motivo, en las últimas décadas se ha producido un cambio en el método constructivo y se han tenido en cuenta, aspectos de eficiencia y sostenibilidad para minimizar los impactos energéticos y ambientales de las edificaciones.

En este contexto, aparece el concepto de "*edificio de consumo casi nulo*" (nZEB) como nuevo estándar edificatorio para solucionar dichos problemas. Sin embargo, tan sólo con las nuevas construcciones no se podrán cambiar las tendencias actuales y por tanto, la rehabilitación energética es una solución imprescindible para alcanzar los objetivos de la directiva 2010/31/UE.

Debido al carácter público y educativo de los colegios, estas edificaciones son una herramienta divulgativa capaz de demostrar que la rehabilitación energética puede transformar las construcciones existentes en edificios nZEB.

Lo novedoso de la tesis radica en establecer una serie de estrategias de rehabilitación que demuestren que dichas intervenciones son viables desde un punto de vista global que tenga en cuenta criterios: energéticos, ambientales, económicos y de confort. Es importante señalar, que se trata de una investigación singular, porque no existen estudios sobre cómo intervenir en edificios escolares.

Palabras clave: rehabilitación energética, eficiencia, sostenibilidad, arquitectura.

RESUMO

O sector da construción caracterizouse historicamente polos seus grandes consumos enerxéticos e altas emisións de CO₂. Por iso, nas últimas décadas estase a producir un cambio no “*modelo construtivo*” e tense en conta aspectos de eficiencia e sostibilidade para minorar os impactos enerxéticos e ambientais das edificacións.

Neste contexto, xorde o concepto de “*edificio de consumo case nulo*” (nZEB) como novo estándar construtivo para solventar ditos problemas. Sen embargo, tan só coas novas edificacións non se poderá cambiar as tendencias actuais e polo tanto, a rehabilitación enerxética é una solución imprescindible para acadar os obxectivos da directiva 2010/31/UE.

Así mesmo, debido o carácter público e educativo dos colexios, estas edificacións son unha ferramenta divulgativa capaz de probar ca rehabilitación enerxética pode transformar as construcións existentes en edificios nZEB.

A novidade da tese radica en establecer unha serie de “*estratexias de rehabilitación*” que demostran que ditas intervencións son viables dende un punto de vista global tendo en conta criterios: enerxéticos, ambientais, económicos e de confort. É importante sinalar, que se trata dunha investigación singular, xa que non existen estudos de como actuar nos edificios escolares.

Palabras clave: rehabilitación enerxética, eficiencia, sostibilidade, arquitectura.

ABSTRACT

The construction sector has historically been characterized by its large energy consumption and high CO₂ emissions. For this reason, in the last decades there has been a change in the "*construction method*" and have taken into account aspects of efficiency and sustainability to minimize the energy and environmental impacts of buildings.

In this context, the concept of "*nearly Zero Energy Building*" (nZEB) is created as a new "*building standard*" to resolve these problems. However, only with the new buildings can not change the current trends and therefore, energetic rehabilitation is an essential solution to achieve the objectives of directive 2010/31/UE.

The public and educational character of the schools is a tool that can demonstrate that the energetic rehabilitation can transform the existing constructions in buildings nZEB.

The novelty of the thesis is that it indicates a series of "*rehabilitation strategies*" that demonstrate that such interventions are feasible from a global point of view that takes into account criteria: energy, environmental, economic and hygrothermal comfort. It is important to note that it is a unique research because there are no studies on how to rehabilitate school buildings.

Keywords: energetic rehabilitation, energy efficiency, sustainability, architecture.

Índice

Introducción	13
Objetivos	16
Metodología de la investigación	18
Estructura de la tesis	22
 Parte 1. El contexto escolar y normativo	 25
Capítulo I. Marco normativo	25
Hacia los edificios de consumo casi nulo (nZEB)	26
La eficiencia energética en España y sus normativas	32
Capítulo II. Estado del arte de la rehabilitación energética	41
La rehabilitación como oportunidad	41
Experiencias de rehabilitación energética en escuelas	46
Capítulo III. La arquitectura escolar	55
La escuela en España en el siglo XX	55
Contexto histórico de los centros escolares en Galicia	75
 Parte 2. Los casos de estudio	 87
Capítulo IV. Análisis de los centros escolares	87
Criterios de selección: climático, normativo y tipológico	89
Selección de los “casos de estudio”	104
Capítulo V. Análisis climático	111
Contexto climatológico en Galicia	113
Clima de los “casos de estudio”	114

Parte 3. Estado actual de la arquitectura escolar gallega	129
Capítulo VI. Análisis energético y de confort	129
Análisis arquitectónico y constructivo	
Patologías energéticas y situaciones de disconfort	
Energía y confort térmico	
- Caso estudio 01. CEIP María Pita y Salgado Torres	130
- Caso estudio 02. CEIP Valle Inclán y O Sello	142
- Caso estudio 03. CEIP Vilaverde Mourente y Plurilingüe Seixalbo	152
- Caso estudio 04. CEIP Balaídos y Albino Núñez	166
- Caso estudio 05. CEIP Isaac Peral y Casás	180
- Caso estudio 06. CEIP Paradai y A Gándara	
- Caso estudio 07. CEIP Emilia Pardo Bazán y Víctor López Seoane	
- Caso estudio 08. CEIP O Couto 01	192
- Caso estudio 09. CEIP Plurilingüe Pintor Laxeiro y San Francisco	210
- Caso estudio 10. CEIP O Couto 02 y Maestre Vide	222
- Caso estudio 11. CEIP As Mercedes y Menéndez Pelayo	232
Capítulo VII. Conclusiones del estado actual	245
Envolvente térmica	249
Comportamiento energético	250
Confort higrotérmico	252
Parte 4. Rehabilitación energética: eficiencia y sostenibilidad	257
Capítulo VIII. Impacto energético y ambiental de las intervenciones	257
Actuaciones independientes de rehabilitación	
Estrategias de rehabilitación	
Análisis del impacto ambiental	
Pérdidas térmicas	
Confort térmico	
- Caso estudio 01. CEIP María Pita y Salgado Torres	260
- Caso estudio 02. CEIP Valle Inclán y O Sello	268
- Caso estudio 03. CEIP Vilaverde Mourente y Plurilingüe Seixalbo	276
- Caso estudio 04. CEIP Balaídos y Albino Núñez	284
- Caso estudio 05. CEIP Isaac Peral y Casás	292
- Caso estudio 06. CEIP Paradai y A Gándara	
- Caso estudio 07. CEIP Emilia Pardo Bazán y Víctor López Seoane	
- Caso estudio 08. CEIP O Couto 01	300
- Caso estudio 09. CEIP Plurilingüe Pintor Laxeiro y San Francisco	316
- Caso estudio 10. CEIP O Couto 02 y Maestre Vide	324
- Caso estudio 11. CEIP As Mercedes y Menéndez Pelayo	332
Capítulo IX. Conclusiones del estado reformado	341
Comportamiento energético	342
Impacto ambiental	347
Confort higrotérmico	348
Conclusiones	351
Anexos	363
Anexo 01. Muestra tipológica de centros escolares	364
Anexo 02. Tablas resumen estado actual	378
Anexo 03. Actuaciones individuales estado reformado	385
Anexo 04. Estrategias de rehabilitación estado reformado	396
Anexo 05. Metodología del ACV	420
Anexo 06. Condiciones de simulación energética (Design Builder)	422
Bibliografía	429

INTRODUCCION

El objeto de la presente tesis es reflexionar sobre la viabilidad y la eficacia de la rehabilitación energética en los centros escolares, así como determinar cuáles son las intervenciones más interesantes para aumentar el confort de los usuarios y reducir los elevados consumos energéticos de estas edificaciones.

Los centros escolares son construcciones muy numerosas y de cierta antigüedad, lo que unido a su tamaño y uso, provoca que tengan bajos niveles de confort interno asociados a unos elevados gastos energéticos.

Este estudio destaca por ser una investigación novedosa en el campo de la rehabilitación energética, porque mientras que el sector residencial cuenta con numerosos trabajos, en la arquitectura escolar no existen estudios que profundicen en los problemas energéticos y sus soluciones.

Investigaciones¹ sobre energía y medioambiente han detectado que el sector de la construcción (fabricación, construcción, uso y deconstrucción), representa el 40% del consumo total de energía de un país, el 40% de las emisiones de CO₂ y el 60% del consumo de materiales. Estos valores sitúan a la rehabilitación energética como un vector estratégico para reducir los consumos y emisiones asociados a los edificios. Además, en comparación con la obra nueva supone un menor uso de materiales y en consecuencia un menor impacto ambiental.

La importancia del diseño bioclimático en nuestra arquitectura es primordial y queda constancia en consideraciones como las que hizo Andrés Jaque en los ciclos de conferencias "Con-Textos" del año 2008 sobre el nuevo entorno energético:

*[...] En términos generales la ecología ha irrumpido en el mundo de la tecnología como un nuevo problema que debe ser resuelto, como antes lo fue por ejemplo la insalubridad[...]*².

¹ BEHLING, S y BEHLING, S. (2002). *Sol Power. La evolución de la arquitectura sostenible*. Barcelona: Gustavo Gili.

² JAQUE, A. (2008). *Con-Textos 2008. Hacia un nuevo entorno energético*. (p.19-20). Villanueva de la Cañada: Universidad Camilo José Cela.

Estas circunstancias sobre consumos, emisiones y materiales tienen mayor importancia en el continente europeo ya que se caracteriza por tener una alta dependencia de los combustibles fósiles; lo que provoca un importante gasto económico para climatizar los edificios.

En España, el sector de la construcción hasta la crisis económica del año 2007 centraba su actividad en la obra nueva mientras que la rehabilitación tenía muy poca repercusión. Así pues, las intervenciones en la edificación existente tenían básicamente un carácter de mejora constructiva de los desperfectos que el tiempo había provocado en ellos, pero en ningún caso se planteaban para mejorar la eficiencia energética. Esta situación se invierte con la aparición de la crisis y con las directivas europeas³ sobre eficiencia energética, las cuáles pretenden dinamizar el sector de la construcción para que sea menos dependiente de los combustibles fósiles y que reduzca sus consumos y emisiones de CO₂.

Para llevar a cabo estos objetivos se estableció como solución que a partir del año 2018, las nuevas edificaciones serían “edificios de consumo casi nulo”⁴ (Nearly Energy Zero Building, nZEB). Este nuevo escenario provoca que las construcciones existentes se encuentren en una situación de gran desigualdad en aspectos energéticos y de confort con respecto a los nuevos edificios. Además de este ambicioso objetivo, los estados miembros deberían formular políticas y adoptar medidas tales como estimular la transformación de los edificios existentes en edificios de consumo casi nulo. De acuerdo con esto, los colegios son edificaciones de gran interés para acometer estas políticas porque la mayoría de ellos son muy poco eficientes energéticamente y tienen asociados elevados consumos de energía final y bajo confort interno.

El interés en la rehabilitación energética también radica en que las operaciones de renovación y restructuración en las ciudades se consideran más lógicas que la construcción de obra nueva, porque permite el aprovechamiento y consolidación de nuestras ciudades. Especialistas como Miguel Ruano⁵, entienden que un desarrollo sostenible de una urbe debería centrarse en restaurar zonas degradadas antes que urbanizar.

La presente investigación plantea el momento actual como una oportunidad para investigar y establecer cuáles serán las líneas a desarrollar en un proceso de rehabilitación escolar. Para ello, en primer lugar se enmarca el estudio en un periodo temporal de gran actividad constructiva en la arquitectura escolar que se produjo en Galicia en la década de los 70' y 80'. Aunque posteriormente se explicará, se trata de un momento de grandes necesidades en el sector educativo debido a la baja tasa de escolarización marcada por la ausencia de un plan educativo estatal y de unos equipamientos acordes a las nuevas enseñanzas.

Esta imperiosa necesidad de equipamientos provocó que se realizara un ambicioso proceso de construcción de escuelas en todo el estado para equipar la educación española a los niveles europeos. El periodo temporal en el que se produjo este “boom” edificatorio coincide con la presente investigación ya que la mayoría de colegios que están en uso actualmente en Galicia corresponden con este momento.

Así pues, los centros estudiados son construcciones de valor arquitectónico que produjeron un importante salto de calidad en la arquitectura escolar. Aun así, uno de los problemas detectados es que debido a la imperante necesidad de construir los colegios con la mayor celeridad, muchas propuestas fueron “proyectos tipo” que repetían el mismo edificio por toda la geografía Gallega. Esta circunstancia provocó que aunque se resolvieran las necesidades funcionales no se tuvieron en cuenta conceptos tan importantes en la arquitectura eficiente como son el lugar y el clima.

³ Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios que fue posteriormente modificada por la directiva 2010/31/UE.

⁴ Edificio de consumo casi nulo: edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto [...]. La cantidad casi nula de energía debería estar cubierta por energía procedente de fuentes renovables. Establece como fechas límites el 31/12/2018 (edificios propiedad pública) y el 31/12/2020 (edificios propiedad privada).

⁵ RUANO, M. (2005). *Ecourbanismo. Entornos urbanos sostenibles: 60 proyectos*. Barcelona: Gustavo Gili.

La circunstancia de haber construido con el mismo proyecto se considera de gran interés para la tesis doctoral ya que se puede estudiar la misma solución energética en un mismo edificio ubicado en zonas climáticas distintas. Esta posibilidad, determinará la influencia del clima a la hora de establecer soluciones en una rehabilitación energética.

La mayoría de los colegios seleccionados presentan una envolvente térmica de muy bajas prestaciones debido a que un porcentaje elevado de ellos fueron construidos antes de la NBE-CT-79. El resto de centros se ejecutaron con esta normativa, que aunque presentaba ciertas exigencias térmicas en los cerramientos, estaba muy lejos de los valores de un edificio nZEB.

Debido al estado de las envolventes térmicas y a que las instalaciones de climatización y electricidad son de cierta antigüedad; esta investigación considera que es necesario volver a acometer un proceso tan ambicioso como el que permitió construir un importante número de colegios⁶ en los 70' y 80'. En cambio, en esta ocasión la intervención ambiciosa para la cual esta investigación pretende servir de guía, debe centrarse en buscar fórmulas viables para rehabilitar energéticamente las edificaciones y alcanzar los estándares actuales de confort y eficiencia.

Aunque el estudio se localiza en el marco geográfico de Galicia, la variedad de zonas climáticas existentes en esta región permite que muchas de las soluciones sean extrapolables a otras zonas del norte de España. Además, independientemente de la ubicación del estudio, la rehabilitación en la arquitectura escolar trae aparejados importantes beneficios sociales como:

1. **Actuar como proceso educativo.** Las rehabilitaciones en las escuelas son un sistema de enseñanza muy interesante para el alumnado. Estas operaciones tienen un gran calado en la conciencia sostenible de los alumnos y futuros usuarios de la ciudad al entender los beneficios que una rehabilitación trae aparejados.
2. **Generar mayor confort térmico.** La rehabilitación permite mejorar las condiciones interiores de los colegios, eliminando situaciones de malestar que se traducirá en un mayor rendimiento de los alumnos que generarán mejores logros académicos.
3. **Mantener una trama urbana de usos mixtos.** La mayoría de las escuelas están en espacios consolidados de la ciudad. La sustitución de un colegio por uno nuevo, desplazaría este equipamiento a zonas peri-urbanas de la ciudad. En consecuencia, esta actuación provocaría nuevos problemas ambientales como el uso de un nuevo territorio y los desplazamientos asociados de los usuarios hasta la nueva ubicación.
4. **Mayor viabilidad económica que la obra nueva.** Son procesos con periodos de amortización más rápidos que la nueva construcción y las intervenciones pueden ser acometidas sin interrumpir el funcionamiento de los centros.

Por lo tanto, el objetivo principal de la investigación es demostrar que son viables los procesos de rehabilitación energética en los centros escolares. Aunque existen limitaciones iniciales como la orientación y la forma edificatoria, es posible que con la rehabilitación estas edificaciones se conviertan en edificios de prestaciones muy cercanas a las de un edificio nZEB.

Como principal hipótesis de la tesis, se establece que es necesario que el proceso de rehabilitación energética sea entendido como un proceso global que tiene en cuenta criterios energéticos, económicos y ambientales.

Por último, se comenta que el arranque de la tesis doctoral se inició con el Máster en Diseño y Gestión Ambiental de Edificios (MDGAE) de la Universidad de Navarra y que continuó con el programa de doctorado del departamento de construcciones arquitectónicas de la Escuela de Arquitectura da Coruña. A su vez, el trabajo de investigación se ha desarrollado en paralelo a la actividad docente realizada por el doctorando en la Escuela de Arquitectura de la Universidad Camilo José Cela lo que ha permitido profundizar en aspectos de su investigación.

⁶ Existen diferentes órdenes del Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) para la construcción de lotes de centros escolares en Galicia dentro de los Planes de Urgencia. Entre los que destaca el BOE del 24 de septiembre de 1971 para construir un total de 73 colegios de Educación General Básica en Galicia.

Objetivos

La tesis analiza y estudia las posibles líneas de rehabilitación energética en los colegios de Galicia y puede contribuir a la modernización de dichos centros. Así pues, el objetivo principal de la investigación es formular las estrategias óptimas de rehabilitación energética que permitan aproximar la arquitectura escolar existente a “edificios rehabilitados de consumo casi nulo”.

Las soluciones que se planteen servirán como referente para otros emplazamientos de similares características a los estudiados. Además del fin principal que persigue esta investigación, también se pretende alcanzar otros objetivos específicos como los siguientes:

1. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL CLIMA Y SU INFLUENCIA EN EL CONFORT.

Se detectarán cuáles son las variables y condicionantes climáticas más determinantes en cada una de las principales ciudades gallegas. En estos núcleos de población se concentran la mayoría de colegios de Galicia y es donde se ubican los casos de estudio de la investigación. Entre las urbes seleccionadas destacan: A Coruña, Ferrol, Lugo, Monforte de Lemos, Ourense, Pontevedra, Santiago de Compostela y Vigo.

El análisis climático se trata de un factor primordial para establecer los comportamientos higrotérmicos de los edificios estudiados. Con el estudio climático comprenderá en qué aspectos deben incidir los procesos de rehabilitación para maximizar los beneficios del clima y en cuales se debe prestar mayor atención para que no afecte al confort interno de los usuarios.

2. SELECCIÓN DE LAS TIPOLOGÍAS ESCOLARES DE REFERENCIA.

Se analizarán las soluciones tipológicas existentes de los centros escolares de educación infantil y primaria (CEIP) de Galicia para determinar cuáles son las “construcciones tipo” de la comunidad autónoma y establecer sus principales características.

Para que la muestra de centros escogida sea lo más completa posible se ha basado la selección en los siguientes criterios: tipología edificatoria, normativa constructiva y zona climática. Este trabajo de aproximación al contexto educativo permite comprender cuáles han sido las influencias más importantes en la arquitectura escolar de Galicia en la segunda mitad del siglo XX y determinar su evolución.

3. DIAGNOSTICO DE LAS PATOLOGÍAS ENERGÉTICAS EN CENTROS ESCOLARES.

Dado que la arquitectura escolar no ha sido estudiada en detalle se pretende detectar cuáles son los problemas energéticos y de confort más importantes que existen en este tipo de edificios públicos. Es necesario desarrollar un profundo análisis del estado actual de la edificación donde se pueda justificar si existe alguna tendencia común entre las patologías energéticas que influyen en el consumo energético y bienestar de los usuarios.

Con este estudio se detectarán posibles líneas de intervención para mitigar la falta de confort existente en los centros escolares como son las asimetrías de temperatura, los puentes térmicos y las infiltraciones no controladas de aire.

4. EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL ESTADO ACTUAL DE LOS CENTROS

El carácter novedoso de la investigación radica en que se plantearán soluciones energéticas para la tipología escolar, pero para ello es de suma importancia establecer como punto de partida el estado actual de los colegios. Es decir, la investigación determinará cuál es el ratio de demandas y consumos energéticos de la arquitectura escolar para comprender como el clima, la orientación y la tipología influye en la eficiencia de las construcciones.

El objetivo del análisis del estado actual no ha sido generar una crítica hacia la administración por el estado energético de los centros, si no el establecimiento de cuáles son los márgenes de mejora que la rehabilitación puede acometer. Se plantea el estudio con un carácter positivo, comprendiendo que estas construcciones tendrán un consumo elevado debido a su antigüedad, pero en las que se cree que es posible que la rehabilitación energética las equipare a las construcciones del futuro.

El análisis de cada centro determinará características comunes que existan entre todos los colegios y esto ayudará a entender qué partes de la envolvente generan mayores pérdidas y en cuáles es prioritario intervenir. El estudio se completará con un inventario sobre las instalaciones existentes ya que es un factor de relevancia en el consumo energético de los edificios públicos.

5. CUANTIFICACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA.

Cada parte de la envolvente será analizada mediante diferentes tipos de soluciones para escoger qué actuación genera mayores beneficios económicos y de confort. Con cada medida se estudiará el punto óptimo de la actuación, es decir, se establecerá en qué momento deja de ser eficaz dicha medida basándose en la relación que existe entre el coste económico y al ahorro que genera.

En primer lugar, se pretende estudiar el efecto de manera individualizada de cada actuación sobre la envolvente y poder determinar qué partes de la envolvente producen mayores ahorros energéticos. En segundo lugar, se establecerán grupos de actuaciones que conformen las "estrategias de rehabilitación" en las que se incluirán a la vez medidas sobre diferentes partes de la envolvente y las instalaciones.

Comparativamente, se estudiarán los beneficios que las "estrategias de rehabilitación" producen en centros distintos para extrapolar conclusiones en base al clima, la normativa, la orientación y la tipología. El objetivo de un estudio pormenorizado sobre diferentes actuaciones, es la obtención de un catálogo de medidas que establezcan el ahorro energético que proporcionan y el "payback" de recuperación de la inversión.

La finalidad que se pretende es que la toma de decisiones en una rehabilitación esté basada en criterios que se puedan cuantificar y medir. Uno de los principales problemas del panorama actual de la eficiencia energética en edificios es que muchas veces los resultados no son justificados en casos reales. Esta cuantificación permitirá determinar si es posible alcanzar la premisa de convertir los centros escolares existentes en edificios de consumo casi nulo.

6. VIABILIDAD ECONÓMICO DE LAS ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN

Se estudiará la viabilidad económica de las medidas seleccionadas para determinar si son rentables introducirlas en edificios con una antigüedad superior a los 30 años. Este análisis aportará el periodo de amortización de cada solución permitiendo establecer cuál será la "rehabilitación óptima" para cada centro, zona climática y tipología.

El objetivo es decidir si la estrategia de rehabilitación puede ser acometida en la totalidad de la envolvente térmica o por el contrario es necesario priorizar por partes para que el "payback" sea más rentable.

7. ESTUDIO AMBIENTAL DE LAS MEJORAS ENERGÉTICAS

Como último objetivo específico se estudia el impacto ambiental que cada actuación de rehabilitación energética genera sobre el medioambiente. Se pretende que la selección de una actuación de rehabilitación energética esté lo más justificada posible.

A modo de resumen, la tesis doctoral establece que, en primer lugar, la selección de actuaciones sea por los beneficios energéticos y de confort, en segundo lugar, por la viabilidad económica y, en tercer lugar, por el impacto ambiental que las medidas producen en el medio.

Es necesario cuantificar las tasas de emisiones de CO₂ que se producen durante la fabricación y puesta en obra, para dictaminar si dichas actuaciones son viables con respecto a las nuevas emisiones que el edificio rehabilitado generará. Con este estudio se establecerá una clasificación de qué soluciones tienen un mayor impacto sobre el entorno.

En conclusión, la investigación pretende verificar que una intervención energética además de producir beneficios económicos y de confort tiene que generar un bajo impacto ambiental para establecer que la rehabilitación energética es un éxito desde un punto de vista eficiente y sostenible.

Metodología de la investigación

Este apartado tiene como objetivo describir y justificar la metodología empleada durante la investigación. Así pues, el desarrollo de la tesis doctoral se ha realizado de manera secuencial estructurándose en las siguientes partes:

1. Recogida de datos para la cuestión de la investigación.
2. Análisis del estado del arte.
3. Estudio, análisis y selección de los casos base.
4. Inspección técnica de los centros.
5. Análisis del estado actual.
6. Análisis del estado reformado.

Así pues a continuación se procede a la explicación de la metodología desarrollada en cada parte:

1. RECOGIDA DE DATOS PARA LA CUESTION DE LA INVESTIGACION

En primer lugar, se procede a la contextualización del tema a investigar mediante la recogida de datos sobre el territorio, el clima y los centros escolares existentes en las diferentes regiones de Galicia. Para ello, se localizan las diferentes construcciones escolares a través de la plataforma digital de la Xunta de Galicia y se obtiene información sobre la localización y la forma arquitectónica de cada centro. Este análisis permitirá determinar los “casos base” a estudiar en la investigación.

En segundo lugar, a partir de las unidades meteorológicas ubicadas en las principales ciudades se obtienen los “años meteorológicos tipo” de cada zona. A través de esta información se puede analizar y establecer la tendencia natural del clima en cada localización.

2. ANALISIS DEL ESTADO DEL ARTE

Se recopila información técnica sobre el “estado del arte” de la rehabilitación energética en centros escolares. Para ello, se estudian actuaciones teórico-prácticas realizadas en Europa y se analizan las normativas de obligado cumplimiento.

También se contextualizan las influencias en la arquitectura escolar en el siglo XX y cómo afectaron al caso concreto de Galicia.

3. ESTUDIO, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LOS CASOS BASE

La investigación se plantea principalmente desde un punto de vista arquitectónico más que desde las instalaciones, por lo que resulta básico que la selección de centros sean ejemplos de cierto valor arquitectónico.

En primer lugar, se determina qué tipo de centro educativo presenta un mayor interés para acometer una investigación sobre rehabilitación energética en Galicia. Para ello, se realiza un inventario de los diferentes tipos de centros escolares que existen según periodo de escolarización de los alumnos. De esta manera, se pudo determinar que el “marco de edad” ideal para la investigación en el que se concentran la mayor número de centros escolares y en consecuencia el periodo que tendría una mayor repercusión es el de los CEIP’s.

Los “Centros de Educación Infantil y Primaria” (CEIP) son mayoría y a su vez los que también están más extendidos por toda la geografía gallega lo que permite a la investigación tener casos de estudio en todas las zonas climáticas del CTE⁷.

⁷ DB-HE1-CTE: Documento Básico de Ahorro Energético. HE1 Limitación de la demanda energética. Apéndice B “Zonas Climáticas”.

En segundo lugar, se selecciona la “muestra de estudio” de los centros en base a un triple criterio **“zona climática - normativa constructiva - tipología edificatoria”**.

La finalidad de este criterio es poder establecer la premisa de que en todas las zonas climáticas exista un ejemplo de cada normativa constructiva y tipología. Así pues se establecen:

- Tres zonas climáticas (C1, D1 y D2).
- Dos periodos de normativa constructiva (antes y después de la NBE-CT-79).
- Tres tipologías edificatoria (bloque, patio y atrio).

Una vez acotados el periodo temporal, normativo y tipológico se escogen un total de “21 centros escolares” (casos base) que se agrupan en “11 casos de estudio”. El análisis se plantea con carácter comparativo entre los casos bases para poder analizar diferentes factores influyentes entre los centros estudiados. En el “anexo 1: muestra tipológica de centros escolares” se agrupan colegios de las tres tipologías seleccionadas para la investigación.

4. INSPECCIÓN TÉCNICA DE LOS CENTROS

En una rehabilitación energética es necesario un proceso de aproximación previo al lugar y al edificio, que en este caso se realiza mediante dos trabajos en paralelo. Por un lado, se desarrolla una labor investigativa sobre los proyectos originales y por otro lado un trabajo de inspección técnica acometida en cada caso base.

El análisis arquitectónico se centra en una recopilación previa de los proyectos originales mediante la búsqueda de información en diferentes archivos como:

- Unidades técnicas provinciales.
- Archivo de Galicia.
- Archivo del Ministerio de Educación y Cultura (MEC).

La documentación técnica obtenida en la mayoría de los casos son los proyectos originales aunque en otros casos existe ausencia de esta información. Se procede a realizar un levantamiento planimétrico de cada centro durante las inspecciones autorizadas por la “Consellería de Educación de la Xunta de Galicia” para verificar y aportar la información que falte en el estudio. Se redibujan los detalles de la envolvente⁸ de cada centro para una mejor comprensión técnica y se aportan como fichas al final del capítulo de análisis de cada centro.

Las herramientas de mayor aporte de información sobre el estado actual serán las inspecciones técnicas y las entrevistas que se realicen a los trabajadores sobre el uso y funcionamiento de los colegios.

Durante las visitas se analizan las patologías energéticas de los centros tales como puentes térmicos e infiltraciones, mediante la realización de termografías térmicas de la envolvente del edificio.

Además se establece un análisis de las instalaciones existentes en los centros, tanto de calefacción como de electricidad, para establecer su antigüedad y la posibilidad de acometer cambios que permitan tener un sistema de mayor eficiencia.

Uno de los puntos de mayor interés son las entrevistas realizadas con los usuarios de dichos centros, porque aportan información sobre los puntos críticos del confort interno de las aulas. Con esta información se establecen las características de funcionamiento de cada centro en cuanto a horarios y usos de los centros. Es primordial que la representación de esta información sea lo más veraz posible ya que no se cuentan con datos reales de consumo de dichos edificios y por lo tanto la simulación del estado actual es el punto de partida de la investigación.

⁸ Los detalle constructivos de cada colegio se encuentran re-dibujados en cada sub-capítulo de la “Parte 3_ Estado actual de la arquitectura escolar gallega”.

5. ANALISIS DEL ESTADO ACTUAL

El modelado y análisis energético se realiza con el programa "Design Builder v4" cuyo motor de simulación es Energy Plus y permite crear modelos computacionales con los datos obtenidos anteriormente.

Con los modelados informáticos se analizan diferentes indicadores energéticos como las demandas, consumos y emisiones de CO₂ tanto en energía final como primaria. Además con estos resultados se determina el coste económico asociado al consumo de energía final para establecer la viabilidad económica de las intervenciones.

En último lugar, se estudia el confort interno de los centros, verificando si se alcanza las condiciones de confort admisible en el interior de los colegios. Para ello, se establecen estudios como el método Fanger que permite determinar la tasa de insatisfacción de los usuarios.

El objetivo final de esta parte de la tesis, es obtener conclusiones del funcionamiento de cada centro, que permitan establecer el punto de partida y las posibles líneas de intervención para alcanzar la premisa del edificio rehabilitado de "consumo casi nulo".

Los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones energéticas están recogidos al final de la tesis en el "anexo 2: tablas resumen estado actual". Además, en este apartado se incluyen las condiciones de simulación (infiltraciones, temperaturas de consigna, condiciones de ventilación...).

6. ANALISIS DEL ESTADO REFORMADO

Para determinar las estrategias de rehabilitación energética que se introducirán en los colegios, en primer lugar se plantean soluciones individuales en cada parte de la envolvente y se realizan simulaciones para obtener qué ahorro energético producen. De esta manera, se puede determinar qué soluciones son más eficaces y establecer cuál es la solución óptima para cada parte.

En el "anexo 3: Actuaciones individuales estado reformado" se adjuntan los resultados de las simulaciones realizadas en los "casos base". Además, se indica por colores cuál es la actuación de mínimos (azul), de máximos (verde) y óptima (rojo) de cada cerramiento.

En segundo lugar, para poder alcanzar la premisa de un edificio de consumo casi nulo es necesario realizar diferentes soluciones a la vez para que las demandas energéticas sean las menores posibles.

Así pues se establecerán hasta tres tipos de estrategias de rehabilitación:

- **Estrategia de mínimos:**

Se planteara una intervención en todas las partes de la envolvente, pero con la menor inversión económica. En muchos casos no se alcanzarán las limitaciones de Código Técnico de la Edificación (CTE).

- **Estrategia de máximos:**

Se trata de estudiar soluciones de altas prestaciones en todas las partes de la envolvente.

- **Estrategia óptima:**

Plantea analizar las soluciones más eficaces en relación al coste de la inversión y al ahorro que se genera. No se busca intervenir en todas las partes de la envolvente, sino alcanzar los mayores beneficios y una rápida recuperación de la inversión.

A través del estudio de estas tres estrategias de rehabilitación se determina cuál de ellas presenta una solución más equilibrada según el coste, el ahorro y el periodo de amortización de la inversión. De esta manera se seleccionará una "solución tipo" para cada caso base y se

podrán obtener conclusiones sobre qué intervención es la más indicada para cada zona climática o tipología.

El objetivo es establecer una “horquilla” de posibilidades para poder determinar cual sería la solución más eficaz según cada centro escolar. Para llevar a cabo esta estructura de trabajo, se realizaron aproximadamente más de 1.300 simulaciones energéticas con el programa “Design Builder”, es decir una media de 60 simulaciones por cada caso base.

Para el cálculo de la inversión económica se obtendrán los precios de mercado de cada intervención de la base de datos del iTEC (Instituto Tecnológico Catalán). Los diferentes resultados obtenidos de las estrategias de rehabilitación de cada caso base, se adjuntan en el “anexo 4: Estrategias de rehabilitación estado reformado”.

En tercer lugar, con la “solución tipo” seleccionada se estudiará el impacto ambiental que genera; para ello es necesario realizar un estudio del análisis del ciclo de vida de las soluciones planteadas y es necesario determinar si la rehabilitación energética planteada es viable desde un punto de vista ambiental.

Para la obtención de estos resultados se utiliza el programa de simulación “SIMAPRO” que permitirá tener en cuenta los impactos ambientales asociados a la fase de fabricación y puesta en obra de las soluciones planteadas.

Para realizar el cálculo se utiliza la metodología de impacto “IPC 2007 GWP20a” y la base de datos BEDEC del iTEC. De esta manera, se puede realizar un ACV sobre la estrategia de rehabilitación óptima. Para una mayor explicación sobre el cálculo ambiental se adjunta el “anexo 5: Metodología del ACV”.

Por último, con este triple estudio de las soluciones energéticas basado en el ahorro generado, el “payback” de la inversión y el impacto ambiental se realizará un catálogo de las “estrategias de rehabilitación óptimas” para cada zona climática.

Estructura de la tesis

La tesis doctoral se encuentra estructurada de la siguiente manera: introducción, cuatro partes desarrolladas en nueve capítulos y conclusiones; además cinco anexos y bibliografía.

La primera parte de la tesis, **“El contexto escolar y normativo”**, está formada por tres capítulos:

- En el primero se define el panorama normativo actual en Europa y España sobre el campo de la rehabilitación energética. Se realiza un estudio del futuro de los edificios a partir del año 2020, con la entrada en vigor de las normativas estatales que adaptaron la directiva europea 2010/31/UE sobre eficiencia energética.
- En el segundo se describe la actual situación sobre rehabilitación energética, contando las principales experiencias europeas y las intervenciones que se han realizado en la arquitectura escolar. Se muestra una situación general del panorama de la rehabilitación analizando cuáles son las principales medidas a acometer en un edificio en el que se intervenga.
- El tercer capítulo se contextualiza la historia de la arquitectura escolar, como las diferentes propuestas arquitectónicas que han influido en el concepto de escuela que existe y cómo se traduce esto al caso de Galicia. Se estudian cuáles han sido los procesos constructivos más importantes en la arquitectura escolar llevados a cabo en la comunidad, de los cuáles muchos de estos ejemplos son tratados en la tesis a la hora de plantear soluciones de rehabilitación.

La segunda parte de la tesis, **“Los casos de estudio”**, explica cómo se realiza la selección de los centros tipo y qué características tiene el clima de las ciudades en las que se asientan los edificios y cómo influye en el confort interno.

- En el cuarto capítulo se explica cómo se realiza la selección de centros, la cual está formada por un total de 21 colegios que han sido escogidos bajo un triple criterio:

“zona clima - normativa edificatoria - tipología edificatoria”.

Durante el proceso de selección de los casos base, se ha detectado que existen algunos centros escolares que se encuentran repetidos en diferentes zonas climáticas. Por lo tanto, se plantea agrupar los 21 centros seleccionados en **“11 casos de estudio”** comparativos que permiten obtener conclusiones importantes sobre la influencia del clima y la tipología.

- En el quinto capítulo se analizan climatológicamente los siete principales núcleos de población en los que se encuentran los “casos base”. Se realiza un análisis de las principales variables climáticas de cada zona para saber su influencia en el confort de los edificios.

La tercer parte, **“Estado actual de la arquitectura escolar gallega”** está formada por dos capítulos, en el primero se realiza un profundo análisis de la situación actual de los centros y en el segundo se exponen las conclusiones de manera que se indiquen cuáles serán las principales líneas de intervención a estudiar durante la siguiente parte de la tesis doctoral.

- El sexto capítulo se desarrolla a través de los **“11 casos de estudio”** para analizar cada uno de los **“21 casos base”** seleccionados. Así pues, se investiga en cada colegio tres aspectos sobre su estado actual:
 - o Análisis arquitectónico y constructivo.
 - o Patologías energéticas y situaciones de desconfort.
 - o Energía y confort térmico.

En primer lugar, se analiza cada centro escolar desde un enfoque arquitectónico y constructivo que permita determinar las características de la envolvente térmica.

En segundo lugar, se realiza un análisis sobre la inspección visual realizada en cada colegio. Se determinan cuáles son las principales patologías energéticas detectadas, (puentes térmicos, infiltraciones de aire o incomodidades térmicas) para poder actuar sobre ellas durante la rehabilitación.

En tercer lugar, con la información arquitectónica de cada centro y las características de su funcionamiento se realizan modelados energéticos (Design Builder) de los "casos base" para simular el estado actual de los colegios. El objetivo es obtener datos energéticos y de confort interno que permitan establecer tendencias en el comportamiento de dichos centros escolares.

- En el séptimo capítulo, se agrupan las diferentes conclusiones obtenidas después de realizar el estudio de los "11 casos de estudio". Se establecen los principales puntos a tener en cuenta a la hora de rehabilitar energéticamente cada uno de los colegios. Así pues, las conclusiones del estado actual se reúnen en tres grandes grupos: envolvente térmica, comportamiento energético y confort higrotérmico.

La cuarta parte, **"Rehabilitación energética: eficiencia y sostenibilidad"**, constituye el núcleo de la tesis. Tras haber estudiado los puntos críticos del estado actual, se analizan las posibles líneas de intervención para alcanzar el objetivo de un colegio rehabilitado nZEB.

- El octavo capítulo se desarrolla a través de los "11 casos de estudio" con el objetivo de analizar la influencia de las actuaciones de rehabilitación en cada centro escolar y establecer finalmente tendencias de tipo general. Para ello, se analiza en cada uno de los centros los siguientes cinco aspectos:
 - o Actuaciones independientes.
 - o Estrategias de rehabilitación.
 - o Análisis del impacto ambiental.
 - o Pérdidas térmicas.
 - o Confort térmico.

En primer lugar, se analizan las actuaciones de manera individual para establecer qué medidas son más eficaces en cada parte de la envolvente. En segundo lugar, se establece una estrategia de mínimos y máximos para poder determinar una horquilla en la que se encontrará la "estrategia de rehabilitación óptima".

Con las estrategias óptimas de cada centro, se realizará un análisis de las mejoras alcanzadas en base a criterios: energéticos, ambientales, económicos y de confort; que permitan concluir si es viable alcanzar la premisa del edificio rehabilitado nZEB.

- En el noveno capítulo, se agrupan las conclusiones sobre el estado reformado de los "11 casos de estudio", en base a tres criterios de análisis: comportamiento energético, impacto ambiental y confort higrotérmico.

Así pues, se establecerán las "estrategias de rehabilitación óptimas" de cada zona y se determinan las tendencias generales detectadas entre todos los casos. El objetivo final es proporcionar valores numéricos sobre los indicadores energéticos (demanda, consumo de energía primaria y emisiones de CO₂) de un centro escolar rehabilitado de consumo casi nulo en Galicia.

PARTE 1. EL CONTEXTO ESCOLAR Y NORMATIVO

Capítulo I. Marco normativo

La historia reciente de la construcción en Europa, viene marcada por los diferentes conflictos sufridos en la primera mitad del siglo XX que provocaron la destrucción de sus ciudades y edificaciones. Durante la segunda parte del siglo, esta situación cambió y cada país resolvió la necesidad de la vivienda y los equipamientos construyendo sus edificios desde un punto de vista funcional que no tenía en cuenta el aspecto energético.

Las diferentes normativas constructivas europeas obviaron durante estos años el importante papel de la envolvente térmica de los edificios para mitigar las pérdidas que se producían y en consecuencia reducir los elevados gastos económicos que esto acarrearaba.

Con las "crisis del petróleo" de 1973 y 1979 este panorama cambia ya que se produjo un importante revés en el desarrollo de los países, el cuál puso de manifiesto la fragilidad de sus economías por su alta dependencia de los combustibles fósiles. Con motivo de estos sucesos, por primera vez se destaca la repercusión que tenía la energía y se establecieron políticas para una mayor eficiencia. Tal y como indicaba el "consejo mundial energético"¹, durante los siguientes años se recurrió a instalaciones y combustibles más eficientes que incrementaron el bienestar de los usuarios pero no redujeron la demanda de los edificios.

No fue hasta las últimas décadas del siglo XX cuando aparecieron las primeras directivas europeas² como la 93/76/CEE (1993) y nuevos modelos de edificación como el "estándar passivhaus"³ (1988) que introdujeron mejoras energéticas en la edificación. Por primera vez, el concepto de la "eficiencia energética" empieza a ser tenido en cuenta para reducir los elevados consumos de los edificios.

¹ CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA (2003). *Elementos activadores de la escena energética. Un informe del Consejo Mundial de la Energía* (p.58). Londres: Worl Energy Council

² UNION EUROPEA. (1993). *Directiva 93/76/CEE, del Consejo Europeo, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE)*, DOUE-L-237.

³ El "estándar passivhaus" fue creado por los profesores Bo Adamson, de la universidad sueca de Lund y Wolfgang Feist, del instituto alemán de Edificación y Medio Ambiente en 1988.

Hacia los edificios de consumo casi nulo (nZEB)

Definitivamente con la llegada del nuevo milenio se produjo un punto de inflexión en las políticas de la Unión Europea sobre clima y energía. En aquellos momentos, se detectaron dos aspectos de suma importancia sobre los que se debía intervenir:

- en primer lugar, los elevados consumos energéticos de las edificaciones y la elevada dependencia del continente Europeo de los combustibles fósiles. Esta situación generaba elevados gastos económicos debido a un "parque edificatorio" de muy bajas prestaciones térmicas que consumía energía en exceso.
- en segundo lugar, las elevadas emisiones de CO₂ de los edificios producían efectos negativos en el calentamiento global. Esta situación crítica se ha puesto de manifiesto en el "Protocolo de Kyoto"⁴.

En este contexto nace la directiva europea 2002/91/CE (DEEE) relativa a la eficiencia energética de los edificios⁵ para intentar solucionar ambos problemas. Su aparición tuvo una gran repercusión en el sector de la construcción ya que pretendía reducir los consumos energéticos y las emisiones de CO₂ asociadas a la edificación. Diferentes estudios destacaron que en aquellos años el sector de la construcción suponía el 40% del consumo de energía total de un país y el 24% de sus emisiones⁶.

Durante los siguientes años, se siguieron desarrollando políticas para actuar sobre estos dos aspectos; hasta que en 2010 se creó la "Estrategia Europea 2020"⁷ que estableció las principales vías de desarrollo para Europa. Así pues, se marcaron tres objetivos muy ambiciosos para el año 2020 sobre el clima y la energía:

- reducir las emisiones de CO₂ un 20%,
- implementar las soluciones renovables un 20%.
- aumentar la eficiencia energética un 20%.

Debido a la importancia de este triple objetivo fue necesario refundar la directiva existente e incluir estos puntos en la nueva norma llamada 2010/31/UE (EPBD)⁸. Su repercusión fue muy grande, porque se convirtió en la directiva más ambiciosa de la historia en temas energéticos y todavía actualmente está rigiendo el modelo de construcción que se quiere introducir en Europa. El hito más importante que esta directiva produjo fue la aparición del "edificio de consumo de energía casi nulo" (EECN) o "nearly Zero Energy Building" (nZEB).

Para alcanzar el objetivo del "triple 20", se consideró implantó un nuevo tipo de edificio que permitiera reducir consumos y emisiones de CO₂. A continuación, se adjunta su definición:

[...] se trata de un edificio con un nivel alto de eficiencia energética, donde la cantidad "casi nula" o "muy baja" de energía requerida debería estar cubierta en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno [...]

La directiva 2010/31/UE estableció un planteamiento de mínimos para que durante los posteriores años cada país miembro realizara una completa definición de lo que sería un edificio nZEB en su territorio. Así pues, se tendría que aportar información como: un valor numérico límite de consumo de energía primaria, la cantidad de energía cubierta por sistemas renovables o la metodología de cálculo de la eficiencia energética. Además, se debería diferenciar entre

⁴ Protocolo de Kioto sobre el cambio climático, adoptado el 11 de diciembre de 1997.

⁵ UNION EUROPEA. (2002). Directiva 2002/91/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios, DOUE-L-2003-80006.

⁶ Eurosta, Final energy consumption by sector, available at: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/main-tables>.

⁷ La crisis económica ha puesto de manifiesto las debilidades estructurales de la economía, por lo que la "Estrategia Europa 2020" se pretende alcanzar un crecimiento: inteligente, a través del desarrollo de los conocimientos y de la innovación; sostenible, basado en una economía más verde y eficaz en los recursos; integrador, orientado a reforzar el empleo, la cohesión social y territorial.

⁸ UNION EUROPEA. (2010). Directiva 2010/31/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, DOUE-L-2010-81077.

edificios nuevos y existentes; como también tener en cuenta diferentes tipologías. Otra característica de esta directiva fue la de promover, en los estados miembro la creación de acciones de mejora sobre las edificaciones existentes; para ello se incentivaba la aparición de planes de rehabilitación energética.

En conclusión, cada país durante los siguientes años tenía que definir este nuevo modelo edificatorio en base a sus características climatológicas y territoriales. Para entender este nuevo edificio y su repercusión es necesario analizar el encuadre teórico en el que se sitúa un nZEB en dicha directiva; para ello lo primero es comprender la definición de "eficiencia energética":

[...] la eficiencia energética de un edificio se determina en función de la energía anual, calculada o real, que es consumida por el edificio con el fin de cubrir las diferentes necesidades asociadas a un uso típico y debe reflejar las necesidades de energía para calefacción y para refrigeración con el fin de mantener las condiciones de temperatura esperadas para el edificio, y la necesidades de agua caliente sanitaria [...]

Para el cálculo de la eficiencia energética se tendrá en cuenta el consumo de energía final de los servicios de calefacción, refrigeración, iluminación y ACS; además del consumo de energía primaria neta de cada vector energético. Los valores de consumo serán estudiados en "energía primaria" que se trata del principal indicador de un edificio nZEB. Para alcanzar este resultado es necesario establecer el cálculo del consumo en "energía final" y posteriormente realizar la conversión a energía primaria. A continuación se definen ambos conceptos:

[...] "energía primaria", se trata de la energía suministrada al edificio que no ha sufrido ningún proceso previo de conversión o transformación. Es la energía contenida en los combustibles y otras fuentes de energía e incluye la energía necesaria para generar la energía final consumida, incluyendo las pérdidas por su transporte hasta el edificio, almacenamiento (figura 01). [...]

[...] "energía final", energía tal y como se utiliza en los puntos de consumo. Es la que compran los consumidores, en forma de electricidad, carburantes u otros combustibles usados de forma directa [...]

Energía primaria = Energía final + Pérdidas en transformación + Pérdidas en transporte



Figura 01_Eschema de paso de energía
Fuente: DB. Sección 0 – Apéndice A

Para el proceso de cambio se define para cada fuente de energía final consumida un "coeficiente de conversión" a energía primaria y un factor de emisión de CO₂. Esta tesis doctoral ha utilizado los factores⁹ proporcionados por el Gobierno de España con fecha del 14 de enero de 2016. Como los principales vectores energéticos de los casos de estudio de la tesis son la electricidad y el gasóleo, estos son los valores tenidos en cuenta para el paso de energía:

- **Electricidad convencional peninsular:**
 - o Energía primaria renovable/kWh E.final= 0,414
 - o Energía primaria no renovable/kWh E.final= 1,954
 - o Energía primaria/kWh E.final= 2,368
- **Gasóleo calefacción** (sistema más utilizado en los centros escolares):
 - o Energía primaria renovable/kWh E.final= 0,003
 - o Energía primaria no renovable/kWh E.final= 1,179
 - o Energía primaria/kWh E.final= 1,182

⁹ MINISTERIOS DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO; Y MINISTERIO DE FOMENTO. (2016). Factores de emisión de co₂ y coeficientes e paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificio en España (p. 16-17).

Los consumos de “energía final” de los centros escolares analizados en esta tesis doctoral se obtienen mediante las simulaciones energéticas realizadas con el programa “Design Builder” que proporciona datos de consumo de calefacción y electricidad (iluminación y equipos). Es necesario reflejar fehacientemente las condiciones existentes de los edificios tales como su geometría, uso y clima para una aproximación real al estado actual.

Esta tesis doctoral debe alcanzar el objetivo de un edificio nZEB rehabilitado teniendo en cuenta el “principio de rentabilidad”. Este término se refiere a que las actuaciones de rehabilitación deben ser viables económicamente, es decir que exista una correcta relación entre el coste tecnológico de las medidas implantadas de eficiencia energética sobre el edificio y el ahorro que producen en el consumo. Es muy importante determinar el “coste óptimo” motivo por el cual esta investigación estudia diferentes soluciones en gráficas temporales que relacionan el ahorro energético (kWh/m²año) y los costes globales (€/m²).

Además, es necesario señalar que en los últimos años ha existido un gran proceso de divulgación de los aspectos energéticos en la edificación a través de diferentes instituciones. Sus principales objetivos son una gran transparencia en la explicación de resultados y la máxima difusión en la adaptación de las diferentes directivas europeas.

Así pues, a nivel de Europa destaca el “Building Performance Institute Europe” (BPIE) formado por expertos que realizan un análisis independiente de las diferentes políticas y proyectos en el campo de la eficiencia energética en Europa. En el caso español existen el “Centro Nacional de Energías Renovables” (CENER) y el “Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía” (IDAE). A nivel autonómico gallego destacan el “Instituto Enerxético de Galicia” (INEGA) y el “Instituto Tecnológico de Galicia” (ITG) que desde la década de los años 90 también fomentan iniciativas en materia energética (figura 02).



Figura 02_Organismos a nivel europeo, nacional y autonómico sobre eficiencia energética. Fuente: internet

Adaptación del nZEB a las normativas estatales

Tal y como se ha comentado previamente, cada país de la Unión Europea desde el año 2010, debería realizar un proceso continuo de adaptación de la directiva a sus normativas estatales ya que el objetivo final es que todas las construcciones nuevas sean edificios nZEB para el año 2018 (uso público) y 2020 (uso privado).

Para alcanzar este objetivo se estableció un calendario con plazos intermedios que permitieran a cada país ir adaptándose progresivamente al edificio de consumo casi nulo (figura 03). Entre los momentos señalados destacan las fechas de 2012, 2015 y 2018; en las que cada país proporcionaría documentación sobre el proceso de adaptación de la directiva. Con posterioridad, la comisión europea emitiría informes sobre los progresos realizados para obtener conclusiones globales. Hasta el momento destacan los informes de los años 2013 y 2016.

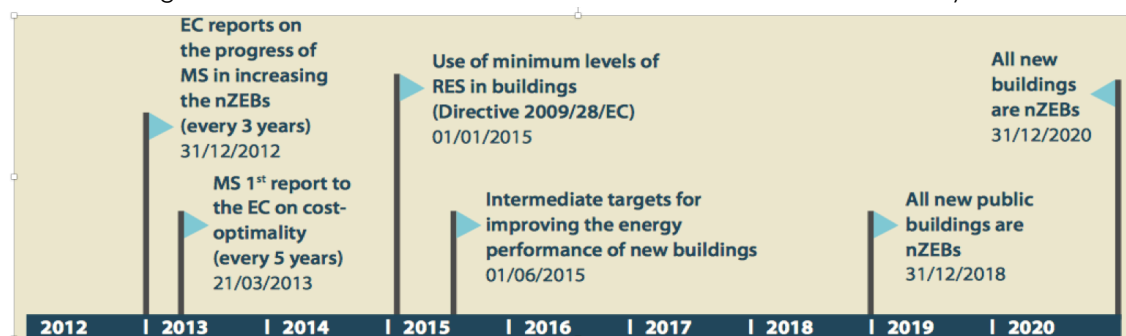


Figura 03_Calendario para la implantación del edificio nZEB
Fuente: BPIE

A fecha de 29 de julio de 2016, la comisión europea presentó el segundo informe sobre los objetivos alcanzados en la implantación del edificio nZEB. Se observaron progresos en muchos estados en comparación con el informe de 2013 pero también se menciona que en general existe un cierto retraso respecto al "planning" inicial. Se destaca que en algunos casos la implantación se va a producir justo en el límite del tiempo lo que puede acarrear problemas de falta de previsión en la formación y en la difusión de las nuevas normas técnicas.

En la figura 04 se muestra una valoración por colores del grado de definición alcanzado a fecha del segundo informe sobre la implantación del edificio nZEB a nivel estatal:

- Verde: desarrollo satisfactorio.
- Naranja: desarrollo parcial.
- Rojo: falta de definición o claridad.

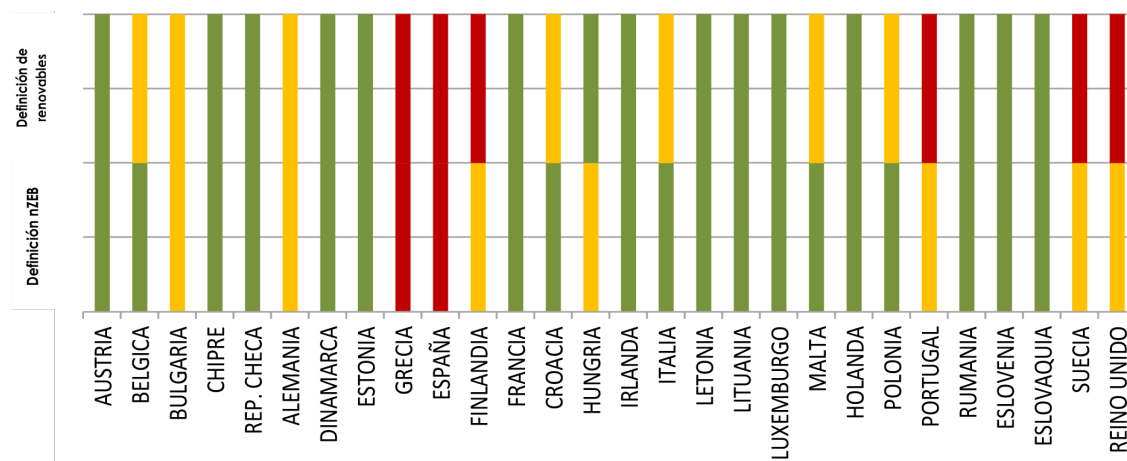


Figura 04_Grado de implantación del edificio nZEB en 2016
Fuente: elaboración propia

Tan sólo cuatro países (Bélgica, Chipre, Dinamarca y Lituania) habían realizado una correcta definición del edificio nZEB incluyendo valores límites de consumo y definiendo la aportación que deberían tener de renovables. Más de la mitad de los países (Chipre, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Rumanía, Hungría, Italia, Lituania, Letonia, Malta, Países Bajos, Polonia, Suecia, Reino Unido) habían incluido valores de límite de consumo, pero se necesita una mayor concreción ya que, por ejemplo, en algunos casos faltan valores para edificios rehabilitados o tipologías distintas a la residencial. Los países con una situación más crítica son los casos de Grecia y España ya que no han aportado ningún valor sobre cómo debería ser el nZEB en su territorio.

El caso español es preocupante por la falta de definición que existe en comparación con otros países. Por ahora tan sólo se ha indicado que este tipo de edificio deberá tener una "clasificación energética" clase A¹⁰. Esta indefinición provoca que en el momento de depósito de la presente tesis no exista un "indicador numérico" de lo que debe ser un edificio de consumo casi nulo. Uno de los objetivos finales que pretende la presente investigación es aportar un valor numérico orientativo sobre el consumo energético que debería de tener una edificación escolar rehabilitada en Galicia.

En contraposición a esta situación de retraso, hay cuatro países que han realizado una definición mayor de lo que debería de ser un nZEB y han incluido mayores exigencias al edificio de consumo casi nulo. Son los casos de Dinamarca y Francia que han planteado "edificios de energía positiva", Alemania "edificaciones climatológicamente neutras" y Reino Unido "edificios cero emisiones". El caso de Francia es significativo en lo que se refiere a arquitectura escolar ya que además exige para el edificio nZEB unos valores mínimos de calidad del aire interior.

¹⁰ D'AGOSTINI ET AL., (2016). "Synthesis Report on the National Plans for NZEBs". EUR 27804 EN; doi 10.2790/659611

	Consumo máximo energía primaria. Nueva edificación (kWh/m ²)		Consumo máximo energía primaria. Edificación existente (kWh/m ²)	
	Residencial	No Residencial	Residencial	No Residencial
AUSTRIA	160	170	200	250
BELGICA *	45	90	54	108
BULGARIA	30-50	40-60	30-50	40-60
CROACIA	33-41	-	-	-
CHIPRE	100	125	100	125
REPUBLICA CHECA	75-80% (Edif. referencia)	90% (Edif. referencia)	75-80% (Edif. referencia)	90% (Edif. referencia)
DINAMARCA	20	25	20	25
ESTONIA	50-100	90 (para escuelas)	-	-
FINLANDIA	-	-	-	-
FRANCIA	40-65	70-110	80	60% (Edif. referencia)
ALEMANIA	40% (Edif. referencia)	-	55% (Edif. referencia)	-
GRECIA	-	-	-	-
HUNGRÍA	50-72	60-115	-	-
IRLANDA	45	60% (Edif. referencia)	75-150	-
ITALIA	Clase A1	Clase A1	Clase A1	Clase A1
LETONIA	95	95	95	95
LITUANIA	Clase A++	Clase A++	Clase A++	Clase A++
LUXEMBURGO	Clase AAA	Clase AAA	-	-
MALTA	55-115	220-255	<220	-
PAISES BAJOS	0	0	-	-
NORUEGA	-	-	-	-
POLONIA	60-75	45-70-190	-	-
PORTUGAL	-	-	-	-
RUMANIA	93-117	50-102	120-130	120-400
ESLOVAQUIA	32-54	34 para colegios	-	-
ESLOVENIA	30-75	30-105	-	-
ESPAÑA	Clase A	Clase A	-	-
SUECIA	30-75	30-105	-	-
REINO UNIDO	44	-	-	-

Figura 05_ Definición del valor numérico de consumo casi nulo de un nZEB en 2016

Fuente: elaboración propia

Una conclusión muy reseñable que se ha obtenido a través del informe es que existe una gran disparidad de resultados en la definición de los valores numéricos de consumo de energía primaria (figura 05). Así pues, existen valores de consumo casi nulo que varían entre los 0Kwh/m²año y 270Kwh/m²año, lo que provoca que no se pueda hacer un estudio comparativo veraz entre países.

Estas diferencias se deben en gran medida a que cada país utiliza métodos diferentes de cálculo de "eficiencia energética" los cuáles están basados en aspectos muy distintos como¹¹:

- **Unidad de cálculo para el balance energético:** energía emitida, energía primaria, equivalencia energética de las emisiones de CO₂, coste de la energía.
- **Periodo de cálculo:** anual o mensual.
- **Tipo de uso energético:** energía para funcionamiento, energía total o embebida.
- **Opciones de suministro de energía renovables.**
- **Factores de conversión.**

Otra conclusión destacada es que existe falta de claridad en la definición de la aportación de renovables que cada país considera que debe cubrir un edificio nZEB. Así pues, algunos países dan valores cuantitativos como es Bélgica (región flamenca) donde establece como mínimo una producción de 10 kWh/m²año, mientras que en otros casos se indica un porcentaje de energía que puede variar desde el 25% de Chipre, al 56% de Dinamarca o el 60% de Alemania. El caso español no ha establecido ningún valor pero la política que existe de no promover el auto-consumo con sistemas fotovoltaicos está en contraposición con la idea de que los edificios nZEB cubran sus consumos con sistemas renovables.

¹¹ GAITANI, N. (2014). "Resumen ejecutivo Proyecto ZEMeds. Estado del arte de los edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB) en la zona mediterránea". Universidad de Atenas, NKUA.

Debido a la disparidad de criterios en la limitación de consumo y en la definición de la cantidad de energía renovable, la comisión europea ha establecido unos valores de referencia sobre el consumo que debería de tener un edificio nZEB de nueva construcción en base al clima y a la tipología (tabla 01). Se trata de una aportación orientativa que pretende servir de guía al resto de países.

VIVIENDA UNIFAMILIAR (kWh/m ² año)	Energía Primaria	Energía Primaria Neta	Fuentes Renovables
Zona Mediterránea	50-56	0-15	50
Zona Oceánica	50-65	15-30	35
Zona Continental	50-70	20-40	30
Zona Nórdica	65-90	40-65	25

OFICINAS (kWh/m ² año)	Energía Primaria	Energía Primaria Neta	Fuentes Renovables
Zona Mediterránea	80-90	20-30	60
Zona Oceánica *	85-100	40-55	45
Zona Continental *	85-100	40-55	45
Zona Nórdica	85-100	55-70	30

Tabla 01_Estimación del posible consumo de un edificio nZEB

Fuente: Comisión Europea

De manera general y a falta de una definición por parte del gobierno español se podría tener en cuenta estos resultados como valores orientativos a la hora de establecer los consumos de energía primaria de un edificio rehabilitado. Aun así, es necesario tener en cuenta las siguientes diferencias:

1. El consumo energético de un edificio nZEB rehabilitado será siempre mayor que el de uno nuevo, al no poder influir sobre ciertos aspectos como la orientación o el diseño formal del edificio.
2. La tipología de mayor similitud a la de los centros educativos son las oficinas, pero es necesario tener en cuenta una serie de diferenciaciones que provocan que el consumo sea menor en los edificios escolares tales como:
 - a. Los colegios seleccionados en esta tesis tan sólo tienen demanda de calefacción y electricidad (equipos, iluminación), mientras que los edificios de oficinas presentan una demanda muy alta que incluye calefacción, refrigeración, electricidad y ACS.
 - b. Los centros escolares tienen una frecuencia de uso menor del edificio, ya que no hay periodo estival ni horarios nocturnos.
3. Los climas más similares a los localizados en Galicia son los de la zona oceánica y continental. Aun así, se trata de una aproximación muy simplista al ser una clasificación climática a nivel europea que agrupa climas muy diversos.

Aunque se trata de una definición muy generalista, se puede indicar que en función de estos criterios el consumo de un edificio rehabilitado de tipología escolar podría estar próximo al de edificios nuevos de oficinas. Por lo tanto, esta investigación pretende verificar si la premisa del consumo de energía primaria en colegios rehabilitados energéticamente podría estar entre los 85 y 100kWh/m²año.

La eficiencia energética en España y sus normativas

La fecha del año 2020 marca el inicio de un nuevo periodo constructivo pero también el final del plazo que los países tienen para adaptar sus normativas a las directivas de eficiencia energética. En España este proceso se está llevando a cabo a través de las diferentes actualizaciones del "Código Técnico de la Edificación" (CTE) desde 2006. Para comprender el proceso de adaptación es necesario entender como habían sido las normativas previas y determinar correctamente el punto de partida del caso español.

España se trata de un país que hasta la década de los años 80' no contó con ninguna normativa que tuviera en cuenta los aspectos energéticos en la edificación. Esta situación viene marcada por su contexto histórico y las necesidades de las décadas de los 50', 60' y 70' en la que el sector de la construcción priorizó la cantidad antes que la calidad. A partir de mediados del siglo XX se produce un despegue económico del país que trajo consigo importantes movimientos demográficos internos del rural a la ciudad. Esta circunstancia demandó la necesidad de construir nuevas edificaciones que dieran servicio a la población, pero que obviaban aspectos energéticos ya que en muchos casos se carecía de la formación y la tecnología para plantearlos.

Un aspecto relevante de España es su latitud geográfica ya que aunque se trata de un país con muchas diferencias climatológicas, presenta en general una severidad climática de invierno menor que en países del norte de Europa. Esto provoca que históricamente la exigencia en los sistemas constructivos no haya sido muy alta y en consecuencia se supliera el confort interno de los usuarios a través de los diversos sistemas de climatización instalados en las edificaciones.

Estos aspectos han provocado que existiera un "parque edificatorio" de muy baja calidad en temas de eficiencia energética hasta la aparición en 1979 de la primera normativa con exigencias en este campo. Entre los principales motivos de la aparición de la NBE-CT-79, destaca la repercusión de la "crisis del petróleo" ¹² de 1973 sobre la economía Española que era muy dependiente de los combustibles fósiles. Esta situación de inestabilidad puso por primera vez de manifiesto la repercusión del elevado consumo energético de las edificaciones en el modelo económico del país.

Aunque hasta ese momento no había normas de obligado cumplimiento sí que existían documentos técnicos que tenían en cuenta aspectos energéticos como las publicaciones del "Instituto Torroja" sobre el cálculo de la transmitancia térmica. Diferentes concursos de arquitectura escolar de aquellos tiempos exigieron tener en cuenta estos cálculos para un menor gasto económico y un mayor confort. Debido a esta exigencia se puede determinar que la arquitectura escolar presentaba mejores calidades constructivas que la arquitectura residencial en aquella época.

A continuación, se procede a una explicación de los diferentes aspectos energéticos recogidos en las normativas que han existido en España y que por lo tanto han influido en la construcción de los casos de estudio recogidos por la presente tesis doctoral.

Aparición de la NBE-CT-79

La primera normativa en España que tenía en cuenta temas energéticos en la edificación fue la NBE-CT-79 publicada el 22 de octubre de 1979¹³. Se trataba de las primeras medidas encaminadas a la consecución de un ahorro energético a través de una adecuada

¹² Los países de la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) decidieron no exportar más petróleo a todos aquellos países que apoyaron a Israel en la guerra del "Yom Kippur", entre los cuáles destacaban Estados Unidos y sus aliados de Europa Occidental

¹³ Real Decreto 2429/79, del 6 de julio por el que se aprueba la NBE-CT-79: "Normas Básicas de la Edificación relativas a Condiciones Térmicas", BOE 253 (1979)

construcción de los edificios. Como se ha comentado uno de los principales motivos de su aparición fue la crisis del petróleo de 1973.

Debido a este suceso en 1975 se publica un decreto que marca el inicio de la futura normativa constructiva. En dicho documento se establece que en base al coeficiente de forma de una edificación y a su zona climática se fija un valor máximo de transmisión térmica global del edificio. A pesar de este decreto, el momento que marca un antes y un después en la construcción española es la aparición de la NBE-CT-79 que estuvo en vigor hasta el año 2006.

Su principal novedad es que los edificios debían estar definidos térmicamente por los siguientes conceptos:

- La transmisión global de calor a través del conjunto del cerramiento. **Coeficiente K_g .**
- La transmisión de calor a través de cada cerramiento. **Coeficiente K .**
- El comportamiento higrotérmico de los cerramientos.
- La permeabilidad al aire de los cerramientos.

Para limitar las pérdidas por transmisión térmica se establecía unas limitaciones según las diferentes zonas climáticas de España. En el caso gallego, la clasificación realizada resultó ser bastante generalista ya que se agrupó bajo la misma zona ciudades con climas tan distintos como Santiago y Vigo o como Lugo y Ourense. A continuación se muestran las dos zonas en las que se clasificó Galicia y los valores límites de transmitancia térmica de los cerramientos:

- Zona climática "W", ciudades como A Coruña, Ferrol, Santiago, Pontevedra y Vigo.
- Zona climática "X", ciudades como Lugo, Monforte de Lemos y Ourense.

TRANSMITANCIA LÍMITE ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)	Zona climática "W"	Zona Climática "X"
Cubiertas	1,40	1,03
Fachadas pesadas	1,80	1,60
Forjados en contacto con aire	1,00	0,90
Soleras	-	-
Huecos (ventanas, puertas...)	-	-

Existen dos aspectos negativos en esta norma sobre eficiencia energética: por un lado no se establecieron limitaciones por transmisión térmica para forjados en contacto con el terreno y huecos; y por otro lado, se obvió el tratamiento de los puentes térmicos. Ambos puntos son motivo de elevadas pérdidas por transmisión térmica en las edificaciones de este periodo que generan altas demandas energéticas y ausencia de confort interno. En contraposición, un punto positivo de esta normativa es la exigencia que se planteaba sobre el comportamiento higrotérmico de los cerramientos para evitar que se produjeran condensaciones superficiales e intersticiales.

Es muy significativo destacar que se estableció como temperatura de confort interno $18^\circ C$ la cuál es muy inferior a la limitación actual del RITE de $21^\circ C$. Este valor de diseño se considera muy bajo para alcanzar condiciones de confort óptimas en el interior de los edificios y en consecuencia los edificios de este periodo tienden a tener mayores consumos para alcanzar temperaturas superiores en su interior. Además el cálculo de las cargas de calefacción provoca que el dimensionamiento del sistema de climatización sea inferior a la exigencia actual del CTE.

Por lo tanto, esta normativa supuso un avance considerable en la manera de construir ya que introdujo aspectos climáticos y de energía que generaron una mayor eficiencia en la edificación del momento. Pero la perspectiva del tiempo, permite afirmar que estuvo en vigor un periodo demasiado largo (1979-2006), lo que provocó que se quedara anticuada con respecto a los avances tecnológicos de los siguientes años. Esta circunstancia ha creado un parque edificatorio con una envolvente térmica de muy baja calidad que deberá ser rehabilitado en los próximos años para aumentar su calidad.

Código Técnico de la Edificación (2006 y 2013)

El 28 de marzo de 2006 entró en vigor el “Código Técnico de la Edificación” (CTE) en España, lo que supuso un cambio significativo para todo el sector de la construcción. Se trataba de las nuevas normas para regular los procesos de edificación y de entre todos los diferentes documentos de obligado cumplimiento destaca el de ahorro energético¹⁴. Se creó una regulación específica que tenía que ver con el objetivo marcado por la Unión Europea de adaptar las normativas estatales a las diferentes directivas sobre eficiencia energética:

- 2002/91/CE (DEEE)¹⁵
- 2010/31/UE (EPBD)¹⁶
- 2012/27/UE (EED)¹⁷

Tal y como se ha indicado previamente uno de los principales motivos de la aparición de estas directiva fue la elevada dependencia de la Unión Europea de los combustibles fósiles. Si a este factor se une que el sector de la construcción consumía el 40% de la energía total, es lógico que se tomara la decisión de implementar medidas hacia la eficiencia energética de las edificaciones nuevas y existentes.

El caso de España se caracteriza por tener una estructura energética basada en la importación del petróleo de alrededor del 80%; mientras que la media de los países de Europa es del 54% (figura 06). Por este motivo las líneas de trabajo debían de centrarse en reducir las demandas y consumos asociados a la edificación.

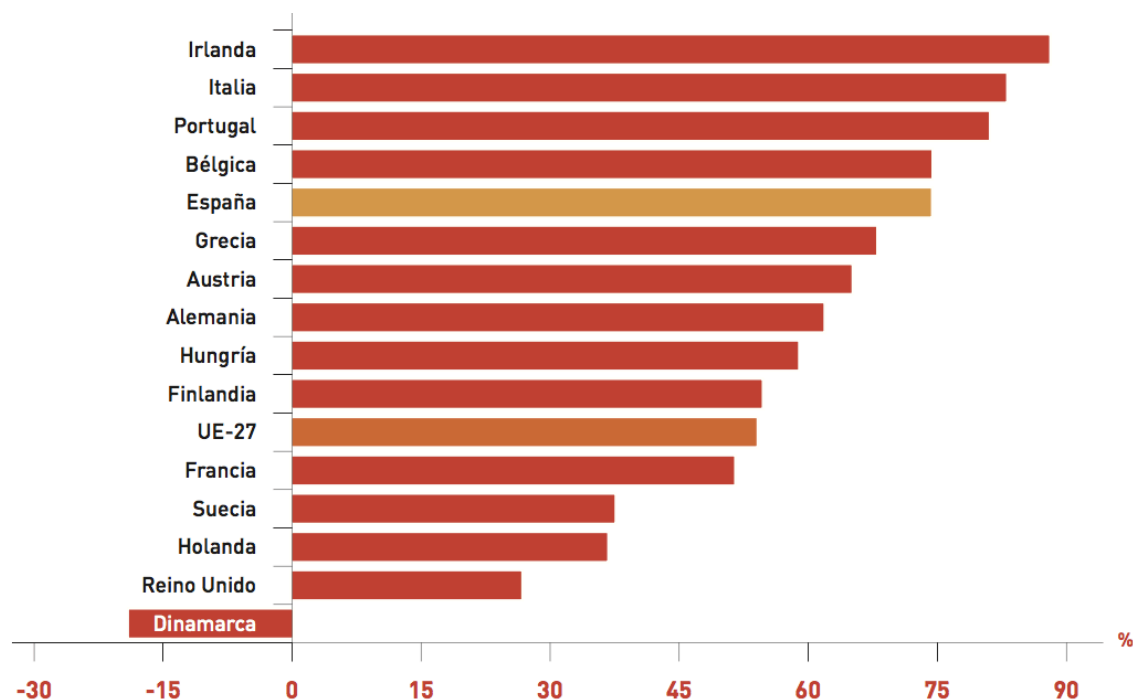


Figura 06_ Importación de petróleo países Unión Europea
Fuente: EUROSTAT (2009) y MITYC (2010)

¹⁴ Documento Básico de Ahorro de Energía. CTE DB: HE

¹⁵ Directiva 2002/91/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios, DOUE-L-2003-80006 (2002).

¹⁶ Directiva 2010/31/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, DOUE-L-2010-81077 (2010).

¹⁷ Directiva 2012/27/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética de los edificios, DOUE-L-2012-82191 (2012).

El documento básico de "Ahorro de Energía" será revisado periódicamente para adaptar los distintos objetivos de las futuras modificaciones de las directivas europeas. Así pues desde su aparición en el año 2006 se hayan producido distintas actualizaciones:

DB-HE.	"Ahorro de Energía"	28/03/2006.
DB-HE.	"Ahorro de Energía"	23/11/2007.
DB-HE.	"Ahorro de Energía"	25/01/2008.
DB-HE.	"Ahorro de Energía"	12/09/2013.

De entre las cuatro publicaciones, las de mayor interés por su repercusión son las del año 2006 y del año 2013. Con la última se producen dos cambios muy destacados que a continuación se analizan pero que tratan de mayores restricciones en la exigencia de "limitación de la demanda energética" y en la incorporación de una "limitación del consumo energético". Al momento de publicar esta tesis doctoral se sabe que por parte del Ministerio de Energía que en el año 2017 se producirá una nueva actualización que establecerá un indicador numérico del consumo de energía primaria de un edificio nZEB en España; pero no se ha podido tener acceso a dicha actualización.

El documento básico de "Ahorro Energético" en su publicación de 2006 presentaba cinco exigencias y en la revisión del año 2013 se incorporó una sexta:

HE0: Limitación del consumo energético.	(2013)
HE1: Limitación de la demanda energética.	(2006)
HE2: Rendimiento de las instalaciones térmicas.	(2006)
HE3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.	(2006)
HE4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.	(2006)
HE5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.	(2006)

EXIGENCIA BÁSICA. DB-HE 0: Limitación del consumo energético

La principal novedad y la de mayor importancia de la versión de 2013 es la aparición de un nuevo documento de obligado cumplimiento que establece la "Limitación de consumo energético". Se trata de otro indicador más en el proceso de definir lo que será un "edificio de consumo casi nulo" antes de la entrada en vigor en 2018 tal y como marca la directiva 2010/31/UE. Con esta nueva exigencia se establece una limitación de consumo energético en los edificios de nueva construcción. Para los edificios existentes de uso "no residencial" rehabilitados no se ha establecido al momento de la publicación una limitación de consumo.

Al no contar con un valor de "consumo casi nulo en edificios rehabilitados", el objetivo de la presente investigación es poder determinar hasta qué punto de mejora se puede alcanzar en edificios de estas características. Esta tesis pretende determinar qué valor de consumo límite será el correcto para un edificio escolar en Galicia y determinar si es viable a través de la rehabilitación energética alcanzar la premisa de un edificio de consumo casi nulo.

EXIGENCIA BÁSICA. DB-HE 1: Limitación de la demanda energética.

La principal característica de este documento es que se establece una limitación de la demanda energética en base a la zona climática, la forma y las características constructivas del edificio proyectado. Se limitan mucho más las pérdidas por transmisión térmica que con la normativa NBE-CT-79, ya que el CTE considera a la envolvente térmica de los edificios el principal elemento regulador de la demanda energética.

A continuación se explica las modificaciones que se han producido entre las tres normativas en el caso de las principales urbes gallegas:

NBE-CT-79 (1979)	DB-HE (2006)	DB-HE (2013)
2 zonas climáticas: W: A Coruña, Ferrol, Santiago, Pontevedra y Vigo. X: Lugo, Monforte y Ourense.	3 zonas climáticas: C1: A Coruña, Ferrol, Santiago, Pontevedra y Vigo. C2: Ourense. D1: Lugo, Monforte.	3 zonas climáticas (modificación) : C1: A Coruña, Ferrol, Santiago, Pontevedra y Vigo. D2: Ourense. D1: Lugo, Monforte, Santiago.
	Tratamiento de los puentes térmicos.	
	Mayor restricción en los valores de transmisión térmica.	Mayor restricción en los valores de transmisión térmica. (modificación)
		En edificios nuevos: Porcentaje de ahorro del 25%, respecto al edificio de referencia.
		En edificios existentes: Si se renueva más del 25% de la envolvente es necesario cumplir las limitaciones de transmitancia térmica de la zona climática.

Tabla 02_Diferencias entre normativas españolas: NBE-CT-79, CTE (2006,2013)

Fuente: Elaboración propia

Con la aparición del CTE se produce una mayor zonificación climática y se establecen hasta 12 zonas diferentes para toda España. La clasificación se realiza en base a la "severidad climática de invierno" (letras A, B, C, D y E) y a la "severidad climática de verano" (números 1, 2, 3, 4), tal y como se indica en la figura 07.

Esta mayor definición se traduce en el caso gallego en una mayor aproximación al verdadero clima de cada ciudad. Con la edición de 2006 en Galicia se definen 3 zonas climáticas para clasificar las principales urbes y con la modificación del año 2013 se realiza un reajuste de la zona climática a la que corresponden Santiago de Compostela y Ourense.

	A4	B4	C4		
SC (ve- rano)			C3	D3	
	A3	B3	C2	D2	
			C1	D1	
	SC (invierno)				E1

Figura 07_Clasificación zonas climáticas CTE 2016

Fuente: Código Técnico de la Edificación

De esta manera se produce una clasificación más específica de las ciudades y no tan global como en la primera versión. La ciudad de Santiago aumenta su severidad climática de invierno pasando de "zona C" a "zona D"; se trata de un cambio acertado ya que tal y como se verá más adelante su clima es más similar al de ciudades como Lugo.

En cuanto al caso de Ourense, se aumenta la severidad climática de invierno al pasar de una "zona C2" a una "zona D2" lo que también es una modificación coherente ya que la severidad climática de los meses invierno es mayor que en las ciudades costeras.

La nueva zonificación también provoca una mayor limitación de las pérdidas por transmisión térmica de la envolvente y la exigencia en el tratamiento de los puentes térmicos para reducir las pérdidas de calor y aumentar el confort en los edificios.

A continuación se muestran los valores límites de transmitancia de las tres zonas climáticas mencionadas según la versión del año 2006 y 2013:

CTE DB-HE (versión 2006)			
TRANSMITANCIA LÍMITE (W/m² K)¹⁸	Zona climática "C1"	Zona Climática "D1"	Zona Climática "C2"
Cubiertas	0,53	0,49	0,53
Fachadas	0,95	0,86	0,95
Suelos	0,65	0,64	0,65
Huecos (ventanas, puertas...)	4,40	3,50	4,40
Factor solar lucernarios	0,37	0,36	0,32

CTE DB-HE (versión 2013)			
TRANSMITANCIA LÍMITE (W/m² K)¹⁹	Zona climática "C1"	Zona Climática "D1"	Zona Climática "D2"
Cubiertas	0,40	0,35	0,35
Fachadas	0,60	0,55	0,55
Forjados en contacto con aire	0,40	0,35	0,35
Soleras	0,60	0,55	0,55
Huecos (ventanas, puertas...)	2,70	2,50	2,50
Factor solar lucernarios	0,37	0,36	0,36

Tabla 03_ Valores de transmitancia térmica CTE (2006,2013)

Fuente: Elaboración propia a partir del CTE

La diferencia entre la NBE-CT-79 y la versión de CTE del año 2006, es que se limitan más las pérdidas por transmisión térmica de la envolvente. Destaca la reducción que se produce en el valor límite de la cubierta ya que se considera que es uno de los puntos más críticos de la envolvente en cuanto a pérdidas.

CUBIERTA

Se vuelve un 62% más estricta la limitación en la zona climática C1:

$U_{lim} = 1,80 \text{ (W/m}^2 \text{ °C) con la NBE-CT-79} \rightarrow U_{lim} = 0,53 \text{ (W/m}^2 \text{ K) con el CTE}_{DB-HE}$.

Se vuelve un 52% más estricta la limitación en la zona climática D1/D2:

$U_{lim} = 1,6 \text{ (W/m}^2 \text{ °C) con la NBE-CT-79} \rightarrow U_{lim} = 0,49 \text{ (W/m}^2 \text{ K) con el CTE}_{DB-HE}$.

FACHADA

Se vuelve un 32% más estricta la limitación en la zona climática C1:

$U_{lim} = 1,40 \text{ (W/m}^2 \text{ °C) con la NBE-CT-79} \rightarrow U_{lim} = 0,95 \text{ (W/m}^2 \text{ K) con el CTE}_{DB-HE}$.

Se vuelve un 16% más estricta la limitación en la zona climática D1/D2:

$U_{lim} = 1,03 \text{ (W/m}^2 \text{ °C) con la NBE-CT-79} \rightarrow U_{lim} = 0,86 \text{ (W/m}^2 \text{ K) con el CTE}_{DB-HE}$.

Con la modificación del año 2013 respecto a la de 2006, la mayor exigencia en la limitación por transmisión térmica se produce en fachadas, donde se reduce un 37%. Otro punto destacado son los huecos, que era una de las partes de la envolvente en las que menos se habían aumentado la limitación; así pues con la modificación de 2013 se produce una reducción del 39% en las zonas C1 y un 29% en la zona D1/D2. La cubierta sigue limitando sus pérdidas térmicas y reduce los valores de transmisión en un 29% en la zona D1 y un 19% para las zonas C1/C2.

¹⁸ Se modifica con respecto a la NBE-CT-79 la unidad de medida de la transmisión térmica de los cerramiento, pasando de W/m² °C con la NBE-CTE-79 a W/m² K con el CTE-DB-HE.

Son unidades distintas pero comparables ya que la transmitancia térmica es la cantidad de calor que atraviesa en la unidad de tiempo una unidad de superficie de un elemento constructivo entre caras paralelas entre las que existe un gradiente térmico, por lo que el valor de la transmitancia dará el mismo valor tanto se mida en °C como en K.

¹⁹ Se modifica con respecto a la NBE-CT-79 la unidad de medida de la transmisión térmica de los cerramiento, pasando de W/m² °C con la NBE-CTE-79 a W/m² K con el CTE-DB-HE.

Son unidades distintas pero comparables ya que la transmitancia térmica es la cantidad de calor que atraviesa en la unidad de tiempo una unidad de superficie de un elemento constructivo entre caras paralelas entre las que existe un gradiente térmico, por lo que el valor de la transmitancia dará el mismo valor tanto se mida en °C como en K.

En conclusión, la zona climática D1 con ciudades como Lugo y Santiago que tienen un clima más exigente durante los meses fríos, ha establecido unas limitaciones muy estrictas en cubierta y fachada. En cambio en huecos ha marcado unas limitaciones poco exigentes que concentrarán importantes pérdidas con edificios menos eficientes.

FACHADA

Un 37% más estricta en la zona climática C1:

$$U_{lim} = 0,95 \text{ (W/m}^2 \text{ °C) CTE_DB-HE (2006)} \rightarrow U_{lim} = 0,60 \text{ (W/m}^2 \text{ K) CTE_DB-HE (2013)}$$

Un 37% más estricta en la zona climática D1/D2:

$$U_{lim} = 0,86 \text{ (W/m}^2 \text{ °C) CTE_DB-HE (2006)} \rightarrow U_{lim} = 0,55 \text{ (W/m}^2 \text{ K) CTE_DB-HE (2013)}$$

HUECOS

Un 39% más estricta en la zona climática C1:

$$U_{lim} = 4,40 \text{ (W/m}^2 \text{ °C) CTE_DB-HE (2006)} \rightarrow U_{lim} = 2,70 \text{ (W/m}^2 \text{ K) CTE_DB-HE (2013)}$$

Un 29% más estricta en la zona climática D1/D2:

$$U_{lim} = 3,50 \text{ (W/m}^2 \text{ °C) CTE_DB-HE (2006)} \rightarrow U_{lim} = 2,50 \text{ (W/m}^2 \text{ K) CTE_DB-HE (2013)}$$

CUBIERTA

Un 19% más estricta en la zona climática C1:

$$U_{lim} = 0,53 \text{ (W/m}^2 \text{ °C) CTE_DB-HE (2006)} \rightarrow U_{lim} = 0,43 \text{ (W/m}^2 \text{ K) CTE_DB-HE (2013)}$$

Un 29% más estricta en la zona climática D1/D2:

$$U_{lim} = 0,49 \text{ (W/m}^2 \text{ °C) CTE_DB-HE (2006)} \rightarrow U_{lim} = 0,35 \text{ (W/m}^2 \text{ K) CTE_DB-HE (2013)}$$

Por último, otro punto de relevancia que se produce con la modificación de 2013 es que la limitación de la demanda energética se convierte de obligado cumplimiento en edificios existentes en los que se produzca una reforma que sea distinta de obras de mantenimiento. Además en el caso de renovar más del 25% de la envolvente de un edificio existente se deberá cumplir con los límites por transmisión térmica. Con estas medidas se pone de manifiesto que la normativa española poco a poco va implementando sus exigencias sobre los edificios existentes. Por lo tanto, estas nuevas exigencias serán planteadas en esta tesis para que los edificios rehabilitados cumplan con las actuales normativas.

EXIGENCIA BÁSICA. DB-HE 2: Rendimiento de las instalaciones térmicas

Con este documento se establecen las exigencias de eficiencia energética y de seguridad de los sistemas de climatización (cuyo contenido está desarrollado en el RITE²⁰). Este reglamento regula el diseño y dimensionado, montaje, mantenimiento e inspección de las instalaciones térmicas. La parte de mantenimiento de instalaciones no se tendrá en cuenta en la presente investigación, pero sí la de ventilación para poder establecer las condiciones mínimas en los colegios. Se considera un punto de vital importancia la renovación de aire tanto desde el punto de vista de la eficiencia energética de los edificios rehabilitados como de asegurar unas condiciones óptimas de confort.

EXIGENCIA BÁSICA. DB-HE 3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación

Otro documento de relevancia es el de eficiencia energética en iluminación. Se considera que en la arquitectura escolar es primordial que existan unas óptimas condiciones de iluminación que permitan a las personas de los centros realizar sus tareas visuales de manera eficiente y precisa²¹. Según el CTE es necesario tener en cuenta estas exigencias al renovar más del 25% de la iluminación; situación que se suele producir en la rehabilitación de edificios públicos ya que las luminarias provocan uno de los puntos de mayor consumo eléctrico.

Además la normativa indica que se deben introducir sistemas eficientes en las instalaciones de iluminación y optimizar el aprovechamiento de luz natural para favorecer la

²⁰ RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios.

²¹ EN 12464-1:2011. Light and lighting. Lighting of work places. Part 1: Indoor work places.

eficiencia de los edificios rehabilitados. Por lo tanto, para la investigación se tiene en cuenta las indicaciones de la norma UNE: EN 12464-1:2011 que trata sobre la iluminación y su diseño para una correcta actividad en el interior de los edificios y evitar efectos como deslumbramiento, sombreado o mala distribución de las luminarias. De esta manera se estudian cuáles han de ser los requisitos de iluminación mínimos para actividades escolares²²:

USO	Iluminancia mínima	UGR _L	U ₀	R _a	Requisitos específicos
Aulas	300	19	0,60	80	La iluminación debe de ser controlable
Vestíbulos	200	22	0,40	80	-
Pasillos	100	25	0,40	80	-
Escaleras	150	25	0,40	80	-

UGR_L: Límites de índice de deslumbramiento.

U₀: Uniformidad de iluminancia mínima.

R_a: Índices de reproducción cromática.

Por último se tendrá en cuenta en los procesos de rehabilitación, incorporar sistema de control y regulación. Esta solución permite evitar situaciones de exceso de iluminación o de escasa iluminación según las condiciones exteriores. Según el CTE una instalación de iluminación deberá estar definida por el valor de eficiencia energética de la instalación VEEL (W/m²) cada 100 lux. Se muestran los valores límites de CTE²³ que se tendrán en cuenta en las simulaciones sobre el estado reformado de las escuelas:

- Aulas y laboratorios: 3,50 W/m².
- Zonas comunes (vestíbulos, pasillos, escaleras): 4,00 W/m².

EXIGENCIA BÁSICA. DB-HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria

Otra de las novedades destacadas, es la introducción de sistemas de energía renovables dentro de nuestras edificaciones. Se plantea una contribución mínima de ACS mediante un sistema renovable, se trata de una innovación respecto a la NBE-CT-79 debido al avance tecnológico de las instalaciones renovables.

No se tendrá en cuenta este punto ya que no hay demanda de ACS dentro de las escuelas. Todos los centros cuentan con edificios independientes para la realización de actividades deportivas en los que existe un sistema de producción de agua caliente.

EXIGENCIA BÁSICA. DB-HE 5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

Según la última actualización (2013) no es de aplicación para edificios escolares. Aunque no se tiene en cuenta en esta investigación, se considera que los sistemas "solares fotovoltaicos" van a tener una gran influencia en los edificios de consumo casi nulo; ya que permitirán cubrir el poco consumo energético que produzcan con la electricidad de sus instalaciones.

Actualmente existen bastante barreras gubernamentales para poder fomentar la instalación de estos sistemas, pero en el momento en que desaparezcan serán una realidad en los edificios. La tecnología actual ha sido desarrollada para que estos sistemas tengan una gran adaptabilidad e integración en los edificios. Además las instalaciones fotovoltaicas empiezan a presentar plazos de recuperación viables para que se plantee el auto-consumo y definitivamente se alcance la realidad de tener edificios de consumo casi nulo.

²² Asociación Española de Normalización y Certificación (2011). *UNE12464-1:2011. Iluminación*. Tabla 5.36. Requisitos mínimos de iluminación en establecimientos educativos – Edificios escolares. Madrid: AENOR

²³ Tabla 2.1. Valores límite de eficiencia energética de la instalación, de la sección HE3:Eficiencia Energética de las Instalaciones de Iluminación del Documento Básico HE: Ahorro de Energía.

Capítulo II. Estado del arte de la rehabilitación energética

La rehabilitación como oportunidad

La planificación de las ciudades entiende que uno de sus mayores retos es la conservación de su tejido edificatorio porque su mantenimiento permite preservar la esencia de las urbes. Esta circunstancia trae consigo que siempre haya existido un debate entre lo nuevo y lo viejo, es decir, una discusión entre si es mejor una intervención que cree una nueva edificación o por el contrario, es mejor adecuar los edificios a nuevas exigencias. En este análisis, es donde la rehabilitación encaja y se convierte en una herramienta de enorme valor para el legado de nuestras ciudades.

La función de la rehabilitación es adaptar y conservar las edificaciones existentes a las necesidades actuales, corrigiendo los posibles desperfectos que durante su vida útil hayan podido aparecer. Sobre la influencia que ejerce el paso del tiempo en los edificios, el profesor Celestino García Braña lo define como el “*drama de la arquitectura*”:

*[...] La naturaleza es como un imperceptible y ciego termitero que sabe que acabará venciendo la voluntad humana de transmitirse en el tiempo [...] Sabemos que la arquitectura siempre perderá la batalla. Pero darla durante mucho tiempo es ya una forma de ganarla [...]*²⁴

Históricamente la rehabilitación planteaba soluciones de mejora como: consolidaciones estructurales, renovación de acabados o sustitución de instalaciones entre otras. Pero esta manera de actuar se ve modificada en nuestros tiempos cuando entra en juego la variable de la energía. Además de conservar nuestros edificios, hoy en día se busca que nuestras actuaciones mejoren el confort de los usuarios desde la eficiencia energética y la sostenibilidad con el medioambiente. Esta nueva visión múltiple debe de ser llevada a cabo a través de los procesos de “*rehabilitación energética*”.

²⁴ GARCIA BRAÑA, C. (2012). *Rehabilitación: ideas para una nueva estrategia*. (PP. CR11). Santiago de Compostela: 4º Congreso de patología y rehabilitación de edificios. Patorreb 2012.

Además de las premisas de confort y uso, cualquier proceso de rehabilitación tiene que atender a un criterio económico que haga que la actuación sea viable y recuperable en un periodo de tiempo coherente. Por lo tanto, en un proceso de rehabilitación es necesario tener en cuenta una amplia coexistencia de conceptos como la economía, la energía, el medioambiente y el uso, para que la intervención sea un éxito.

Uno de los valores más importantes de la arquitectura es poder buscar soluciones a problemas de cada época; así pues la rehabilitación emerge como esa solución capaz de poner a punto los edificios existentes en cuanto a los actuales estándares de confort y de eficiencia energética. Durante las últimas décadas el planteamiento que se seguía era el de obviar el valor de lo antiguo y por lo tanto sólo se pensaba en derribar y en construir de nuevo.

En relación con esto, la rehabilitación de centros escolares es más coherente que derribarlos y volver a levantar nuevas escuelas. En el caso de los colegios, el modelo educativo no ha producido un cambio en la manera de enseñar que requiera un cambio en el edificio escolar. Durante las últimas décadas se han introducido nuevas metodologías en las clases como el empleo de nuevas tecnologías pero estos cambios no suponen la necesidad de un nuevo edificio escolar.

Destruir los actuales centros para construir otros del mismo tipo es insostenible desde un punto de vista económico, energético y ambiental. Por lo tanto, si no se ha producido en las últimas décadas un cambio en la metodología que requiera de un nuevo edificio; la finalidad de los arquitectos hoy en día debe de ser la de rehabilitar las edificaciones para mejorar su confort y alcanzar una mayor eficiencia energética.

Es necesario entender la rehabilitación energética como un proceso de oportunidad, que nos llevará a cumplir los objetivos planteados de 2020 de reducir nuestros consumos en un 20% y aumentar la eficiencia en otro 20%. La única fórmula de éxito para alcanzar estas premisas es intervenir sobre la edificación existente ya que por mucho que los nuevos edificios sean edificios nZEB, son los edificios ya construidos los que generan mayores consumos y emisiones.

Por último, se indica que la rehabilitación energética traerá consigo la recuperación de un sector que se encuentra con graves problemas desde la crisis económica del 2007 porque se generarán puestos de trabajo y empresas especializadas en el sector.

La rehabilitación energética en la edificación

Desde el año 2000 la UE ha planteado crear un marco legislativo encaminado a la eficiencia energética; tal y como se ha podido ver en el anterior capítulo estas nuevas políticas se estructuran en tres directivas: 2002/91/UE (DEEE), 2010/31/UE (EPBD) y la 2012/27/UE (EED).

Con la primera se introdujeron los primeros planteamientos sobre la metodología de cálculo de la eficiencia energética en la edificación; pero es con la segunda y la tercera refundación de las directivas con las que se marcan objetivos concretos que afectan a la rehabilitación energética.

El objetivo del "triple 20" de reducir el consumo y aumentar la eficiencia energética no se podrá alcanzar tan sólo con las edificaciones nuevas; ya que la tasa anual de nuevas construcciones sólo representa el 1% del parque edificatorio existente²⁵. Por lo tanto las mejoras energéticas en estos edificios no es suficiente y la única solución es intervenir sobre la demanda energética del parque edificatorio existente.

En consecuencia, la tercera directiva exige a los estados miembros la necesidad de desarrollar estrategias de renovación sobre su parque de edificios a largo plazo. La EED (Directiva de Eficiencia Energética) complementa la directiva 2010/31/UE centrando la atención

²⁵ WWF (2010). (PP. CR11) *Potencial de Ahorro Energético y de Reducción de Emisiones de CO₂ del Parque Residencial existentes en España en 2020*. Madrid: World Wildlife Fund.

en los edificios existentes que sean objeto de una renovación energética. Esta directiva pretende incrementar el número de edificios renovados.

Así pues, se pone especial interés en los edificios públicos como parte muy interesante de los procesos de rehabilitación. Se considera que deben de jugar un papel ejemplificante en las estrategias de rehabilitación energética y, por lo tanto, se introduce la premisa de renovar cada año a partir del 1 de enero de 2014 el 3% de la superficie pública existente²⁶ en cada país de la unión europea. Para llevar a cabo este proceso se planteó la exigencia de que a 31 de diciembre de 2013 era necesario entregar un inventario de los edificios públicos existentes en los que se estableciera la superficie de climatización y el rendimiento energético de cada edificio para determinar los procesos de intervención sobre la edificación existente.

Además para cumplir con los requisitos de la "Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050" es básica la rehabilitación energética de los edificios existentes ya que esta directiva estableció el compromiso de la UE de reducir en 2050 las emisiones de gases de efecto invernadero entre un 80-95% respecto a los valores de 1990.

Para alcanzar los objetivos a medio y largo plazo sobre emisiones de CO₂, apareció en la tercera directiva la obligatoriedad de realizar "auditorías energéticas" que son consideradas un elemento muy importante en los procesos de rehabilitación. Tienen una función esencial que permite contabilizar los gastos energéticos de las edificaciones para poder determinar qué actuaciones contribuyen más en el ahorro y la eficiencia energética.

En el caso de España además de existir un importante retraso en la definición del edificio nZEB tampoco se ha avanzado en el campo de la rehabilitación energética, porque no se ha incluido un valor numérico de consumo. El aspecto positivo es que en los últimos años se han planteado actuaciones para promover la rehabilitación como el "Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020"²⁷:

Código de medida	Nombre medida
3.1.	Rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios existentes
3.2.	Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas en edificios existentes
3.3.	Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior
3.4.	Construcción de nuevos edificios y rehabilitación de existentes con alta eficiencia energética
3.5.	Construcción o rehabilitación de edificios de consumo casi nulo

Tabla 04_ Actuaciones en rehabilitación y obra nueva para mejorar la eficiencia energética
Fuente: Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020

Aun así, estas medidas se consideran insuficientes y es necesaria una posición más firme en el campo de la rehabilitación energética según el informe del año 2010 de WWF (World Wildlife Fund) sobre el potencial de ahorro energético de la edificación existente en España. En dicho documento se consideraba que el sector residencial español tenía la capacidad técnica y económica para asumir el objetivo de reducir el consumo de energía final en un 30% para el año 2020.

Además dicho informe indicaba que reducir el 30% de la energía final, supondría dejar de emitir una media de 8,7 millones de toneladas de CO₂ al año y obtener un ahorro anual de 2.312 millones de euros.

²⁶ El 3% se calculará sobre la superficie total de los edificios que tengan una superficie total superior a 500m² y que al 1 de enero de cada año no cumplan con la energía mínima nacional. Este umbral de cálculo se deberá reducir a partir de 2015 a 250m².

²⁷ INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. (2011). *Plan de ahorro y eficiencia energética 2011-2020*. 2º Plan de acción nacional de eficiencia energética en España 2011-2020. Madrid: IDAE.

Para alcanzar este objetivo se priorizaba que sobre todo se debían mejorar los niveles de aislamiento térmico de las envolventes. Se entiende que si en un proceso de rehabilitación no se optimiza la envolvente existente en primer lugar, los procesos de mejora de la eficiencia energética de las instalaciones no son tan relevantes. Lo mismo sucede con las instalaciones renovables cuyos efectos sobre una envolvente térmica que no ha sido rehabilitada serán menores.

Pero uno de los principales problemas que se ha detectado en estos primeros años de actuaciones sobre los edificios existentes es cómo abordar el coste económico de la intervención para que la actuación pueda ser llevada a cabo. Algunos países como Alemania y Reino Unido han desarrollado políticas y mecanismos para financiar el sector de la rehabilitación y que pueda arrancar. Según la comisión europea las medidas de mejora en la financiación se consideran esenciales para enfrentar las serias limitaciones en la disponibilidad de capital para cubrir los costes iniciales.

El caso de Alemania es uno de los países europeos con mayor éxito en el estímulo de la rehabilitación energética. En su caso se establece una rehabilitación del 2% anual y un objetivo de que para el año 2050 se reduzca la demanda de sus edificios en un 80%. El éxito de la rehabilitación energética en este caso es la cofinanciación público-privada en los diferentes proyectos. En cuanto a Reino Unido se inició un proceso llamado "Green Deal", que establecía un marco que permitiera a las empresas privadas ofrecer a los consumidores mejoras energéticas sin ningún coste por adelantado y recuperando los pagos a través de una cuota en sus facturas.

En conclusión, es necesario promover la inversión tanto pública como privada para poder incentivar actuaciones sobre rehabilitación en los edificios existentes. Así pues, se necesitan procesos de financiación a más largo plazo y con menores costes de intereses para que sea viable el proceso de rehabilitación. Estas actuaciones tienen que ir aumentando progresivamente y establecer como prioridad los edificios públicos que dependan de la administración los cuáles tienen una gran visibilidad y puede servir como ejemplo a la sociedad.

Además el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ en la construcción debe de ser entendido en todas las fases de vida de un edificio (fabricación, construcción, uso y mantenimiento, deconstrucción). Así pues, esta tesis doctoral entiende que además de buscar la viabilidad económica de las medidas es necesario buscar la viabilidad ambiental de las actuaciones. Para alcanzar un objetivo de eficiencia energética no se pueden producir elevados impactos ambientales en la fabricación y puesta en obra de las medidas seleccionadas. Por lo tanto esta investigación estudia estos impactos y los tiene en cuenta en la selección de las medidas más interesantes para rehabilitar.

Este aspecto se refiere a la necesidad de tener una visión global en los procesos de rehabilitación que permitan entender que aunque nosotros obtengamos importante beneficios económicos y energéticos; éstos deben de estar relacionados con aspectos medioambientales que no generan impactos negativos. Lo peligroso de las soluciones de rehabilitación energética vistas sólo desde un punto de vista, es que aunque produzcan una mejora en la reducción energética pueden acarrear desequilibrios en el aspecto ambiental.

Por lo tanto, una actuación de rehabilitación energética requiere ser abordada desde cuestiones tan diversas como la energía, la sostenibilidad y el medioambiente.

Hoy en día, los procesos de renovación sobre edificios existentes son estudiados por el BPIE "*Buildings Performance Institute Europe*" que analiza el impacto de las estrategias de rehabilitación y sus resultados tanto energéticos como de emisiones de CO₂.

Así pues, para concluir, se indican algunas de los diferentes proyectos más interesantes sobre rehabilitación realizados en Europa en los últimos años:

- EPISCOPE, tiene como objetivo favorecer el seguimiento y optimización de los procesos de renovación energética y el ahorro real de energía en el parque de edificios.
- ZenN, se trata de proyectos de intervención sobre los vecindarios y edificios existentes. Se pretende demostrar que los nZEB son técnica, económica y socialmente viables.
- Republic_ZEB, se trata de un proyecto que pretende definir "paquetes de medidas" estandarizadas para implantarse en los edificios existentes.
- ZEMeds, se trata de un proyecto que se centra en la renovación de escuelas a nivel de edificios de consumo casi nulo (nZEB) en regiones mediterráneas.
- RECONSOT



Figura 08_Proyectos Europeos sobre eficiencia energética

Fuente: Elaboración propia

Experiencias de rehabilitación energéticas en escuelas

A pesar de la aparición en los países de la UE de las nuevas normativas sobre eficiencia energética y la aparición de proyectos innovadores en rehabilitación que se han comentado con anterioridad, son todavía muy pocas las experiencias llevadas a cabo sobre edificios existentes reales.

En general, los casos que a continuación se muestran indican que la rehabilitación energética para convertir los edificios existentes en nZEB es posible. El problema surge con la viabilidad económica, la cual está influenciada por la severidad climática en la que se ubiquen las construcciones. Es decir, se detecta que las estrategias de rehabilitación se recuperan antes en zonas donde hay una mayor severidad climática, porque los ahorros que se producen son mayores. Así pues, la variable del clima tiene un gran peso en la selección de las propuestas.

Lo que demuestran estos estudios es que el caso español se encuentra lejos de estas actuaciones, ya que apenas existen ejemplos de rehabilitación energética en centros escolares a nivel nacional. En España la mayoría de fondos han sido utilizados principalmente en la tipología residencial.

Por otro lado, también se detecta que en otros países es muy importante la introducción de sistemas renovables en edificios rehabilitados nZEB. Destaca como principal sistema la introducción de sistemas fotovoltaicos que permite el auto-consumo y, en consecuencia, ayuda a reducir los fuertes consumos energéticos existentes en los colegios.

Así pues, a continuación se muestran tres experiencias de casos de rehabilitación energética en centros escolares de Europa, que han sido tenidos en cuenta en la presente tesis doctoral:

- Proyecto ZEMeds.
- Plan Batiment Grenelle
- School of the Future

Proyecto ZEMeds en España.

El proyecto ZEMedS está cofinanciado por la Unión Europea, en el marco del "Programa Energía Inteligente para Europa" (IEE)²⁸. Se plantea como objetivo la rehabilitación energética de escuelas públicas para convertirlas en edificios nZEB en las regiones mediterráneas (Francia, Grecia, Italia y España). Un dato reseñable de esta investigación es que destaca el elevado potencial que tienen estos edificios para fomentar la eficiencia energética y cumplir los objetivos de edificios de consumo casi nulo.

En España básicamente se han realizado en los últimos años mejoras individuales sobre algunos centros escolares que tratan sobre todo de incorporar instalaciones más eficientes, tanto lumínicas como de producción de calor. Según este proyecto europeo, en el caso de España, no se han realizado buenas prácticas de rehabilitación energética desde un enfoque global e integral que permita alcanzar una edificación de bajo consumo; tan sólo se han implementado medidas individuales.

Un informe²⁹ publicado por la Comisión Europea con relación a este proyecto, destaca que en España hay una falta de transparencia en la publicación de los datos sobre el comportamiento energético de los edificios. Es reseñable que no exista una mayor publicación de esta información por parte de la administración, ya que nos encontramos en un momento en que no se puede criticar a los organismos públicos que sus edificios consuman mucha energía,

²⁸ Programme: Intelligent Energy Europe (IEE)

²⁹ GAITANI, N. (2014). "Resumen ejecutivo Proyecto ZEMeds. Estado del arte de los edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB) en la zona mediterránea". Atenas: University NKUA.

porque estas edificaciones han sido construidas con normativas muy antiguas que no tenían en cuenta temas energéticos. Pero lo que sí es criticable, es que no exista intención de cambio y de reparación ahora que los medios y las políticas europeas tienden a incentivar la rehabilitación. Se debería de empezar por mostrar públicamente los consumos del estado actual y establecer un proceso abierto de cómo poder rehabilitarlos y convertirlos en un ejemplo a seguir.

Se destaca que, de los edificios escolares seleccionados para el proyecto ZEMeds, la mayoría presentan problemas que también han sido detectados en los casos de estudio de esta tesis doctoral (sobrecalentamiento en unos espacios y bajas temperaturas en otros al mismo tiempo, bajos niveles de ventilación en las aulas y problemas de deslumbramiento).

Es importante destacar que, en general, hoy en día las escuelas cuentan con alta densidad de alumnos por aula lo que provoca que, si no existe una correcta ventilación, se genere una elevada concentración de gases. Esta circunstancia reduce la atención de los alumnos y provoca una menor predisposición para el aprendizaje.

Así pues, la rehabilitación de centros escolares no sólo tiene que ser contemplada con una visión individual enfocada a la energía y a las emisiones sino como una visión global que aportará mejores resultados educativos al tener centros escolares con mejores condiciones para impartir clases.

Dentro del proyecto ZEMeds se ha podido acceder a los consumos energéticos de diferentes escuelas. En el caso de España las escuelas estudiadas se localizan en la región de Cataluña y en total se han estudiado 354 escuelas. Para obtener datos reales se ha procedido a la realización de auditorías energéticas que proporcionan datos muy fiables. Así pues se estableció el consumo de energía medio entre los 68 y 122 kWh/m²/año.

Grecia también ha proporcionado información sobre el consumo de sus colegios y dependiendo de las distintas regiones ha establecido un rango entre 49 y 90 kWh/m²/año en calefacción de gasoil y 16 kWh/m²/año en electricidad.

En el caso de Italia, más del 60% de las escuelas se construyeron sin que existiera reglamentación térmica (anterior a 1976) y menos de 10% se construyeron después de la primera ley que introducía requerimientos específicos sobre eficiencia energética. Esto demuestra que al igual que en España, los edificios escolares son de muy bajas prestaciones en cuanto a aspectos energéticos que producen una falta de confort.

Se ha detectado que en los colegios italianos se produce un mal uso de las instalaciones de climatización; durante algunos días de los meses de otoño y primavera las instalaciones de calefacción están en funcionamiento sin ser necesarias lo que provoca un exceso de sobrecalentamiento en el interior y la apertura de las ventanas. Se trata de una práctica también detectada en colegios de la zona gallega y que demuestran una muy mala práctica energética por parte de los usuarios.

Francia es el último país que forma parte del proyecto ZEMeds y que según los resultados mostrados en el informe tiene una política muy activa hacia las renovaciones energéticas de escuelas en su territorio. Tal y como se ha comentado en el capítulo anterior no sólo tiene una intención de crear edificios de consumo casi nulo, sino que plantea que el objetivo de estas edificaciones sean también de energía positiva para el año 2020.

Estos diferentes objetivos fueron determinados en las reuniones políticas agrupadas bajo el proyecto "Grenelle de l'environnement" y que posteriormente será comentado.

Así pues, para el estudio y difusión del proyecto ZEMeds, se han escogido un total de 10 casos de estudio para todas las regiones del mediterráneo:

- Francia: 2 escuelas.
 - "School Group Slamanque" (Montpellier, Francia) de 1965.
 - "School Group Langevin Wallon" (Bédarieux, Francia) de 1945.
- Italia: 4 escuelas.
 - "Antonio Salvetti" (Toscana, Italia) de 1965-1975.
 - "Don Milani" (Toscana, Italia) de 1984.
 - "ITC Benincasa" (Ancona, Italia) de 1975-1977.
 - "ITC Einstein" (Loreto, Italia) de 1966.
- Grecia: 2 escuelas.
 - "13th – 33th Primary School" (Peristeri, Grecia) de 1977.
 - "25th Primary School & Kindergarten" (Peristeri, Grecia) de 1982.
- España: 2 escuelas.
 - "Escola Santa María d'Avia" (Cataluña, España) de 1979.
 - "Escola Miguel Hernández" (Cataluña, España) de 1980.

El objetivo de este proyecto es aportar amplias soluciones para la rehabilitación de estas diez escuelas en casos de nZEB. El objetivo es evaluar el impacto, las diferentes soluciones que pueden ser planteadas, el coste económico y la recuperación de la inversión en el tiempo.

Con respecto a los dos casos de estudio de Cataluña, existen ciertas similitudes con algunos de los centros escolares escogidos en la presente tesis doctoral. Por lo tanto resulta interesante su análisis siempre que se ponga en perspectiva la diferencia climática que existe entre ellos y los casos de Galicia.

El centro Santa María d'Avia se ubica en una zona climática D1 mientras que la escuela Miguel Hernández corresponde con una zona C2. Una diferencia reseñable con los casos de estudio de la tesis doctoral es que ambos centros tienen demanda de refrigeración.

Los dos colegios tienen soluciones constructivas similares en cuanto a su envolvente térmica:

- Muro: entre 1,30W/m²K y 1,98W/m²K
- Solera: entre 1,90W/m²K y 2,24 W/m²K.
- Cubierta: entre 1,3 W/m²K y 2,50 W/m²K.
- Huecos: entre 3,3 W/m²K y 5,7 W/m²K

También se detectan patologías térmicas como infiltraciones de aire y puentes térmicos sin aislar como: frentes de forjados, frentes de pilar, dinteles y jambas. Ambos casos cuentan con calderas de gasoil para calefacción y sistemas "split" para la refrigeración.

Después de realizar las auditorías energéticas, los valores de consumo de energía final de calefacción están entre 90kWh/m²año y los 109kWh/m²año, mientras que los de electricidad son entre 42 kWh/m²año y los 98 kWh/m²año. Es muy destacable la importancia que tiene el consumo eléctrico en estos edificios ya que los sistemas de refrigeración provocan que se dispare el consumo eléctrico y se equipare al de calefacción. Esto se traduce en que el coste económico anual en cuanto a gasto energético será superior el de electricidad que el de gasóleo; así pues la parte eléctrica tiene un coste entre 8.768 y 9.044 euros al año, mientras que la de gasóleo es en el caso del CEIP Miguel Hernández de 6.363 euros y en el CEIP Santa María de 13.411 euros.

Es muy significativo este valor porque además de plantear soluciones de rehabilitación energética de la envolvente, estos edificios también tienen que tener en cuenta intervención sobre las instalaciones eléctricas.

Los proyectos de rehabilitación energética de estos centros escolares definen principalmente tres premisas distintas:

- Consumo energía final (calefacción, refrigeración, ACS e iluminación): < 25kWh/m²año.
- Consumo de energía primaria renovables: consumo neutro (cubrir necesidades).
- Asegurar unas condiciones mínimas de calidad interior de aire (CO₂ menor a 1000ppm³⁰).

Para alcanzar estos objetivos, se establecen tres tipos de estrategias de intervención que combinaban diferentes soluciones que a continuación se indican:

- En primer lugar, un conjunto de soluciones de actuación sobre la renovación de los huecos existentes y sistemas de protección solar.
- En segundo lugar, diferentes soluciones de aislamiento de la fachada y cubierta existente. Se analizaron propuestas de aislamiento tanto por el interior como el exterior.
- En tercer lugar, se implementaron soluciones de renovación de las instalaciones e incorporación de sistemas de ventilación mecánica y sistemas renovables como calderas de biomasa y sistemas fotovoltaicos que permitieran cubrir el consumo de energía final existente.

Los resultados finales alcanzados demuestran que se pueden producir edificios rehabilitados de consumo casi nulo. En el CEIP Santa María d'Avià se alcanzan los siguientes resultados:

- Consumo de energía final estaría entre los 12 y los 26 kWh/m²año; mientras que los de electricidad sería de 7kWh/m²año.
- Consumo de energía primaria no renovable que podría ser de tan sólo 21kWh/m²año.

Por otro lado, en el centro escolar Miguel Hernández se alcanza los siguientes resultados después de la rehabilitación:

- Consumo de energía final de calefacción sería entre los 9 y 15 kWh/m²año mientras que la de electricidad sería de 6 kWh/m²año.
- Consumo de energía primaria no renovable en el caso más favorable sería de 28kWh/m²año.

En ambos casos destaca que, si se realiza un sistema de rehabilitación energética y se implementan soluciones de auto-consumo, se podría alcanzar la premisa de edificios rehabilitados de energía positiva, es decir que produjeran más energía de la que consumieran.

Según el informe presentado para el proyecto ZEMeds, los dos casos de estudio de Cataluña indican que para alcanzar los objetivos de un edificio de consumo casi nulo rehabilitado, sería necesario escoger actuaciones que incluyeran medidas de aislamiento por el exterior, con sistemas de ventilación mecánica con recuperador de calor, sustituir las instalaciones existentes (calderas y luminarias) por sistemas más eficiente e incorporar sistemas renovables fotovoltaicos.

Estas soluciones se traducen en "payback" de entre 23 y 27 años si se lleva a cabo toda la actuación a la vez, aunque existe un problema relacionado que es la inversión económica inicial. El margen de mejora es muy grande, pero se necesita un gran desembolso económico para hacer una intervención de estas características. Uno de los puntos más interesantes es la instalación de autoconsumo de placas fotovoltaicas que permiten reducir el consumo a cero pero su instalación es muy costosa.

³⁰ PPM: partes por millón de CO₂

Proyecto “School of the Future”

Este estudio está financiado con fondos europeos dentro del proyecto “*Fraunhofer IPB 2015*” y su objetivo es demostrar, evaluar y comunicar las posibilidades de rehabilitar escuelas existentes. Para ello se escogen cuatro edificios escolares ubicados en distintas zonas de Europa y con climas muy distintos como: Stuttgart (Alemania), Cesena (Italia), Ballerup (Dinamarca) y Drammen (Noruega).

De nuevo, destaca la importancia de rehabilitar las escuelas por el poder de transmisión que los futuros usuarios pueden tener al conocer los efectos de la rehabilitación energética. Así pues entre los principales éxitos alcanzados destacan ahorros de calefacción en torno al 75% y mejoras en el confort térmico de los estudiantes y profesores al mejorar la calidad del aire, luz y acústica.

Entre las soluciones planteadas destacan mejoras de la envolvente térmica mediante aislamiento, ventanas de triple acristalamiento, sensores de CO₂, zonificación de la climatización para una mayor eficiencia del sistema, incorporación de sistemas LED e instalaciones renovables de autoconsumo como los sistemas fotovoltaicos. Las diferentes medidas planteadas buscan alcanzar mejoras en el comportamiento térmico y en el confort de los usuarios.

El proyecto “*escuela del futuro*” plantea tres objetivos de inicio que son corroborados con la monitorización y la medición real después de la rehabilitación:

1. Alcanzar el objetivo de reducir en 1/3 el consumo total de energía.
2. Reducir el consumo de calefacción en más de un 75%.
3. Mejorar el confort interior (calidad aire, correcta iluminación y acústica).

En el caso del edificio escolar de Stuttgart (1966), se mejoró la envolvente térmica con sistemas de aislamiento térmico por el exterior e incorporación de ventanas con triple acristalamiento. Además, se introdujo un sistema de medición de CO₂ para determinar los procesos de apertura de ventilación natural y se planteó un sistema de cogeneración para la producción de calor y electricidad que está considerado en Alemania como un sistema renovable.

En este caso, el consumo de energía final de calefacción se estimó después de la rehabilitación en 53kWh/m²año lo que produciría un ahorro del 75%. Finalmente las diferentes medidas planteadas produjeron un consumo final de calefacción de 71kWh/m²año y un ahorro del 54%. En cuanto al consumo de energía primaria real (calefacción, ACS, ventilación y electricidad) después de la rehabilitación fue de 111 kWh/m²año respecto al existente que era de 218 kWh/m²año, lo que generó un ahorro del 49%. (figura 10)

En la escuela de Cesena (1960), se plantearon sistemas de aislamiento para mejorar la envolvente térmica en la fachada, forjado en contacto con bajo cubierta y sótano. Se incorporaron nuevos sistemas de producción térmica como calderas más eficientes a la vez que se introdujeron sistemas de zonificación para proporcionar un mayor confort interno. Además, se introdujeron sistemas de ventilación mecánica para reducir los consumos de calefacción. En cuanto a los consumos eléctricos se plantearon sistemas fotovoltaicos.

En este caso, el consumo de energía final de calefacción se estimaba en 25 kWh/m²año generando un ahorro del 81%, finalmente el resultado fue de 30 kWh/m²año. En cuanto al consumo de energía primaria el resultado final fue 33 kWh/m²año respecto al estado actual que era de 167 kWh/m²año (figura 11).

El colegio de Ballerup (1972), planteó una intervención que demolía el cerramiento existente y los sustituía por un sistema de fachada ligera. Además implementó una instalación fotovoltaica con sistemas de iluminación eficiente.

Con las medidas planteadas el ahorro estimado en calefacción era del 76% y con un consumo de 46 Kwh/m²año; la medición real estableció un ahorro del 60% y un consumo de energía final de calefacción de 76 kWh/m²año. En cuanto al consumo de energía primaria total que se obtuvo después de la rehabilitación fue de 118 kWh/m²año respecto al estado actual que era de 252 kWh/m²año; esto generó un ahorro del 53% (figura 12).

Por último el caso de Drammen (1914) se trata de un edificio protegido, por lo que la actuación se centró en reemplazar las carpinterías existentes por vidrios triples. Se introdujo un sistema renovable de bomba de calor geotérmica para la producción de calefacción. El sistema de climatización era realizado mediante un sistema de aire por lo que se planteó aislar dichos conductos para reducir sus pérdidas.

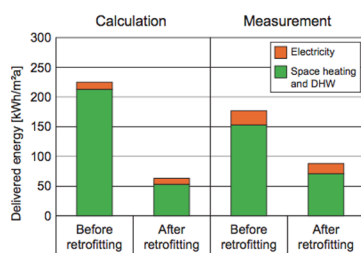


Figura 10_Escuela Alemana

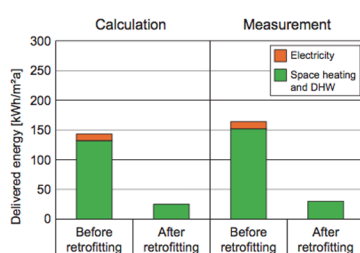


Figura 11_Escuela Italiana

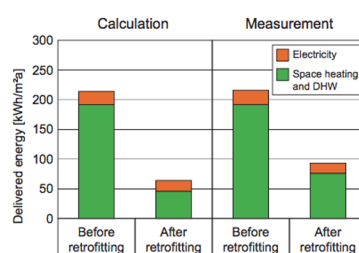


Figura 12_Escuela Danesa

Fuente: Project School of the Future

A continuación, se adjunta una tabla sobre los valores de la envolvente térmica antes y después de la rehabilitación (figura 13). Una conclusión que se obtuvo de este estudio es que aunque se lleve a cabo un proceso de rehabilitación muy riguroso siempre existe un margen de error entre la estimación y el caso real.

Location		U-Factors: W/m ² K (Btu/hr-ft ² °F)			
		Solitude Gymnasium, Stuttgart (D)	Tito Maccio Plauto School, Cesena (I)	Hedegårdsskolen, Ballerup (DK)	Brandengen skole, Drammen (N)
Wall	Before	0.44–3.65 (0.077–0.643)	1.8–2.8 (0.317–0.493)	0.57 (0.100)	0.85 (0.150)
	After	0.18–0.23 (0.032–0.041)	0.28–0.31 (0.049–0.055)	0.10 (0.018)	0.81 (0.143)*
Window	Before	3.1–5.80 (0.546–1.02)	6.0 (1.06)	3.1 (0.546)	2.6 (0.458)
	After	0.9–1.30 (0.158–0.229)	1.2 (0.211)	0.7 (0.123)	0.8 (0.141)
Roof	Before	0.67–0.96 (0.118–0.169)	2.3 (0.405)	0.45 (0.079)	1.15 (0.203)
	After	0.15–0.20 (0.026–0.035)	0.18–0.20 (0.032–0.035)	0.06 (0.011)	0.12 (0.021)
Ground floor	Before	1.50 (0.264)	1.3 (0.229)	0.40 (0.070)	0.19 (0.033)
	After	1.50 (0.264)	0.28–1.3 (0.049–0.229)	0.40 (0.070)	0.15 (0.026)**

* slight improvement due to resealing of cement fillets in the brick facade

** slight improvement due to reduction of cold bridge between the cellar wall and the ceiling

Figura 13_Valores transmitancia térmica cerramientos antes y después de la intervención

Fuente: Project School of the Future

Otra conclusión obtenida después de ejecutar las diferentes medidas es que las estrategias de rehabilitación energética deben de estar planteadas desde los siguientes aspectos técnicos

1. Reducción de las pérdidas de calor de la envolvente térmica.
2. Manejo óptimo de las ganancias solares.
3. Diseño eficiente de las instalaciones (calefacción, refrigeración y ventilación).
4. Sistemas eficientes de iluminación.
5. Sistemas de producción energética (auto-consumo).

Cada una de las medidas planteadas deben de ser estudiadas desde varios enfoques para tener una visión global de sus efectos. Así pues en este caso han sido analizadas desde los siguientes puntos: la cantidad de ahorro energético alcanzado, el tiempo de la recuperación de la inversión económica, la reducción de emisiones de CO₂ y el valor neto final del edificio después de ser rehabilitado.

Por último, es necesario indicar una conclusión obtenida con el estado reformado de los edificios y que tiene que ver con la influencia de las infiltraciones de aire. En el edificio de Stuttgart se llevó a cabo una medición previa y posterior mediante un estudio "blowerdoor" que permitió establecer reducciones en la tasa de infiltración de en torno al 50%. Las infiltraciones de aire no controladas son uno de los puntos más críticos en la rehabilitación de edificios existentes; así pues, hay que tener especial cuidado con las rejillas de ventilación natural de las ventanas, con la estanqueidad de los marcos de las carpinterías y las cajas de persianas.

"Plan Batiment Grenelle". Francia.

Este plan de intervención para reducir el consumo de energía en los centros escolares existentes se encuentra dentro de un plan global llamado "*Plan Grenelle de l'Environnement*". Dicho plan considera que deben ser las entidades locales las que promuevan la rehabilitación energética porque cuentan con un total de 150 millones de metros cuadrados de edificios escolares en toda Francia. La mayoría de estos edificios fueron construidos con anterioridad a la crisis del petróleo de 1973 y sin conceptos de eficiencia energética.

Una de las premisas más interesantes de este plan es que, además de buscar la reducción en los consumos energéticos, se pretende alcanzar mejores situaciones de confort para los usuarios de las escuelas. Se entiende que repercutirá en el beneficio de la educación y en la mentalidad de los jóvenes que serán educados en el problema energético.

Este plan de intervención tuvo su repercusión en la creación de la guía "*RS4E de la Rénovation des bâtiments scolaires*" que pretendía dar a las diferentes entidades locales una serie de soluciones energéticas para renovar sus centros escolares. En dicha guía se estableció como consumo actual de energía primaria un valor medio de entre 150 y 200kWh/m²año que no parece ser muy elevado si se compara con otros edificios terciarios de Francia como hospitales y comercios.

Para realizar este estudio se ha procedido a la creación de una base de datos según diferentes criterios. Se ha considerado que el año constructivo no es reseñable ya que hay edificios de épocas constructivas muy diferentes como 1920, 1980 y 2000 y el consumo es muy similar. Finalmente se procede a la selección de 4 tipos de centros escolares que sirven de referencia y sobre los cuáles se plantean diferentes soluciones hasta establecer cuáles serán las soluciones tipo para rehabilitar.

Una de las conclusiones más interesantes de este estudio es que establece tres tipos de medidas a la hora de rehabilitar un edificio, tal y como se indica en la figura 09:

- Regulación de las instalaciones: un ajuste de la instalación de producción de calor puede suponer hasta un ahorro de entorno al 15-20%.
- Sistemas de climatización: su principal objetivo es reducir el consumo final del edificio y en consecuencia genera mayores ahorros que el primer caso.
- Actuaciones en la envolvente térmica: es la solución más cara pero también la más eficiente de todas.

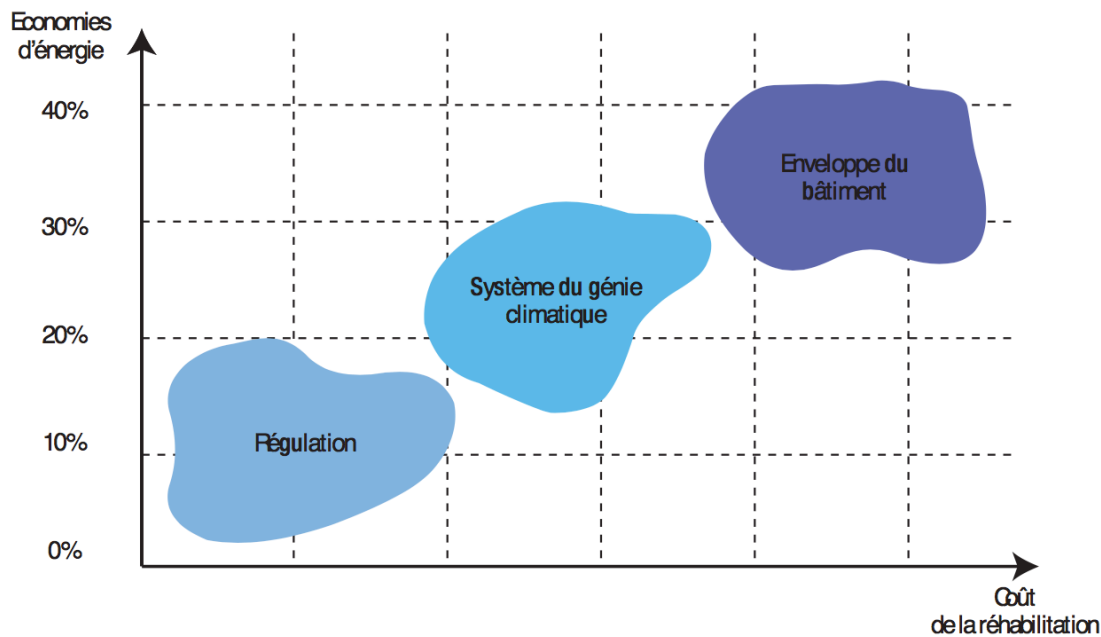


Figura 09_Medidas a implantar por la guía de rehabilitación francesa en centros escolares
Fuente: Plan Batiment Grenelle

EVOLUCION HISTÓRICA ARQUITECTURA ESCOLAR ESPAÑOLA	
1857	LEY MOYANO 1857. Ley General de Instrucción Pública, es el punto de partida de la enseñanza en España. ¹ Los municipios se encargan de la construcción de las escuelas. 1920. El estado ² asumen los procesos constructivos y desvincula a los ayuntamientos. Alto índice de analfabetismo debido a que no existen suficientes colegios.
1931-1936	PLAN DE CONSTRUCCIONES ESCOLARES. Quinquenio republicano. Periodo de gran relevancia, se construyen 15.000 ³ escuelas para reducir el déficit. El "concepto de escuela" se ve influenciado por el Movimiento Moderno. Se caracteriza por ser el periodo de la arquitectura escolar basada en principios higienistas y funcionales.
1940-1955	AÑOS DE POSGUERRA Escasa actividad constructiva se produce un retroceso en la calidad de la arquitectura escolar. La "escuela unitaria" es uno de los modelos de edificio escolar. Se construye en este periodo un total de 4.500 aulas en España. 1945. Se crea la UNESCO en colaboración con el U.I.A. (Unión Internacional de Arquitectos) 1950. Apertura de España al mundo, entra en la OMS, ONU... 1953. <u>Ley de Construcciones Escolares</u> ⁴ .
1956-1963	PLAN NACIONAL DE CONSTRUCCIONES ESCOLARES Los años posteriores a la II Guerra Mundial son un periodo de intensa actividad en el estudio del concepto de edificio escolar. Influencias internacionales en la arquitectura escolar española. Se construye en este periodo un total de 22.000 aulas en España. 1956. <u>"Plan Nacional de Construcciones Escolares"</u> . 1956. <u>I Concurso de escuelas rurales tipo</u> . 1957. <u>II Concurso de prototipos para escuelas graduadas</u> .
1964-1967	I PLAN DE DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL Este plan consigue aumentar la atención sobre la enseñanza primaria. Considerando que en un país donde la mayoría de la población solo recibía esta educación era necesario aumentar su calidad. Se construye en este periodo un total de 14.000 aulas. 1965. <u>Ley sobre reforma de Educación Primaria</u> ⁵ . - Se amplía la escolarización hasta los 14 años. - Se elimina progresivamente la "escuela unitaria" por la "escuela graduada". 1966. <u>Concurso de "proyectos tipo" para Escuelas Nacionales</u> ⁶ . Se aumenta la calidad arquitectónica y contribuyó a avanzar en el modelo de escuela pública.
1968-1971	II PLAN DE DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL Se detecta que el "Plan Nacional" y el "I Plan de Desarrollo" no habían alcanzado los objetivos por falta de financiación estatal. Así pues, se plantea que con el "II Plan" se construyan 25.000 escuelas. Es la época del modelo de edificio de la "escuela personalizada" y de "trabajo en grupo". 1969. <u>"Libro Blanco de la Educación"</u> . Establece dos objetivos: - Crear un ley de educación. - Promover la creación de instalaciones escolares de calidad. 1970. <u>Ley General de Educación</u> ⁷ . 1971. <u>Premio Nacional de Arquitectura para el modelo de centro escolar de E.G.B.</u> Se crea el prototipo de "Colegio de Educación General Básica" pero nunca se llega a construir. 1971. <u>"Plan de Urgencia de Galicia"</u> . Se promueve la construcción de 73 colegios nacionales. ⁸
1972-1976	III PLAN DE DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL Se cambia el sistema de construcciones escolares y se prioriza "la cantidad" sobre "la calidad". Se modifica el "modelo de colegio" por uno más económico y de menos riqueza arquitectónica. Se produce una vuelta al modelo de edificio de la "escuela graduada". 1973. "Crisis del petróleo". 1976. Se promueven concursos para la construcción de "escuelas tipo" por todo el estado.
1977	PACTOS DE LA MONCLOA Se promueve una política eficaz de construcciones escolares. Se pretende realizar las construcciones con la mayor celeridad, por lo que la duración de las obras debe de ser menor a 1 año. Se acaba con el déficit escolar que existía desde los años 50'. 1979. Aparición de la NBE-CT-79 1979 y 1980. <u>"Plan Extraordinario de Escolarización"</u> . Se construyen 400 colegios (238.000 puestos) ⁹ y en Galicia se estima la construcción de 60 colegios. Posteriormente se continúa con otros procesos constructivos para completar los objetivos propuestos.

Tabla 04_Evolución histórica de la arquitectura escolar española

Fuente: elaboración propia

¹ ALVAREZ, A. (1975). *Los precedentes de la Ley Moyano*. Revista de educación, nº240, p.5. Madrid: Ministerio de Educación.

² Real Decreto del 23 de noviembre de 1920.

³ LAZARO, E. (1975). *Historia de las construcciones escolares en España*. Revista de educación, nº240, p.116. Madrid: Ministerio de Educación.

⁴ Ley 22 de diciembre de 1953 sobre construcciones escolares. BOE, nº358 (24/12/1953).

Capítulo III. La arquitectura escolar

El edificio escolar ha sido a lo largo de la historia un claro reflejo del momento en el que se encontraba la educación y cuáles eran las tendencias que influían en su diseño. Para comprender el tipo de edificio ante el que pretendemos intervenir es necesario entender su origen y desarrollo. A través de este capítulo se realiza un estudio de la evolución de la arquitectura escolar en España y, para una mayor comprensión, se ha realizado un cronograma de los hitos más importantes en su historia (tabla 04).

La escuela en España en el siglo XX

El debate sobre la educación había sido ya introducido en la Ilustración (finales del XVIII) por lo que cuando “los liberales” se reunieron en las Cortes de Cádiz en 1810 la enseñanza se presentó como un punto de vital importancia para el desarrollo de la sociedad española.³² Con la nueva constitución, se habla de la necesidad de crear escuelas en todos los pueblos de España para la instrucción pública de la sociedad. Es la primera vez que se vincula la importancia que tiene el edificio escolar en el proceso de aprendizaje; en este momento, los centros educativos reciben el nombre de “escuelas de primeras letras”³³ (figura 14).

Una de las principales características que se repite durante finales del siglo XIX y primeros del XX, es la continua inestabilidad política que se vive en España que, unido a una falta de aportación económica, lleva a que la construcción de escuelas sea muy lenta y de manera muy desigual por todo el territorio.

Un momento destacado en este proceso de implantación de la educación pública es la “Ley General de Instrucción Pública” del año 1857 más conocida por “Ley Moyano” (ministro que la promovió) que introdujo por primera vez un periodo de escolarización obligatoria de 3 años. Muchos especialistas la consideran el punto de partida de la universidad española actual

³² ALVAREZ, A. (1988). *La Ilustración y la reforma de la Universidad en la España del siglo XVIII*. Revista de educación. Madrid: Ministerio de Educación.

³³ Constitución de 19 de marzo de 1812. Título IX Instrucción Pública, artículos 366 y 367.

y, en general, de toda la enseñanza del país³⁴. Destaca por ser una ley que ha tenido gran influencia durante más de 100 años y se caracterizó por el intento de mejorar las condiciones educativas que existían en España, donde la tasa de analfabetismo era elevadísima.

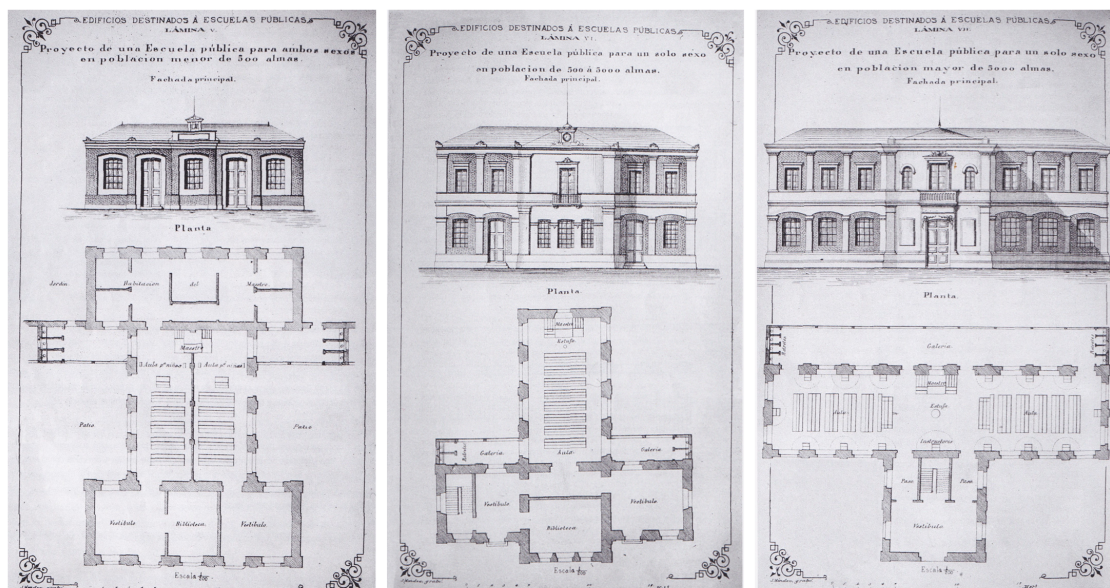


Figura 14_ Modelos de escuelas de primeras letras
Fuente: BURGOS, F. "La arquitectura del aula"

El modelo educativo de principios del siglo XX amplía la formación a un grado medio y superior, pero le da mayor peso a la "enseñanza básica primaria", la cual era considerada como un elemento primordial para la sociedad ya que la mayoría de la población nunca accedía a la formación superior. Así pues, en 1902 se amplió la escolarización tres años más, hasta la edad de los 12 años.

El problema de este sistema radicó en que la educación primaria fue abordada por los ayuntamientos mientras que la superior recaía en el Estado. Este planteamiento se tradujo en un fracaso, porque los ayuntamientos no fueron capaces de resolver la demanda educativa que existía. El motivo de que no cumplieran con las expectativas es que muchos municipios o no construyeron los colegios o hicieron edificios que no cumplían con una calidad mínima para impartir las clases. Esta situación generó una gran desigualdad educativa entre diferentes zonas de España.

Para paliar esta situación, en el año 1920³⁵ se produce la intervención del estado en el sistema de enseñanza primaria; la finalidad de esta decisión es intentar dotar a todos los municipios de escuelas que tuvieran unas condiciones mínimas para la educación. Para poder acometer los procesos de construcción escolar se crea la figura de la "Oficina Técnica de Construcciones de Escuelas" que tendrá una importante labor durante los diferentes planes de construcción de escuelas que serán abordados hasta los años de la transición española.

Será a principios de los años 30 cuando por primera vez se crea un ambicioso plan de construcciones escolares en todo el estado. Este proceso es ejecutado durante el primer periodo de la II República (1931-1936) y permitió que se construyera un total de 15.000 escuelas³⁶. El plan se planteó un objetivo principal y muy ambicioso que fue intentar reducir el elevado déficit que existía de escuelas públicas.

³⁴ ALVAREZ, A. *Los precedentes de la Ley Moyano*. Ministerio de Educación. 1975, nº240, p.5.

³⁵ Real Decreto, 23 de noviembre de 1920.

³⁶ Según el decreto del 28 de febrero de 1936 se construyeron durante el "Quinquenio Republicano" un total de 16.409 escuelas.

Finalmente, los datos de planificación³⁷ no pudieron ser llevados a cabo por falta de liquidez económica porque no había un tejido empresarial suficientemente especializado por toda la geografía, que permitiera acometer las obras en un corto periodo de tiempo. Esto se tradujo en que muchos alumnos quedaran sin escolarizar o escolarizados en lugares de baja calidad para la docencia. Aun así, el periodo republicano destaca por ser un hito en la historia de la educación pública española, porque hasta el año 1956 no se volvió acometer un plan con objetivos similares.

Es una época donde destacan propuestas de gran calidad arquitectónica como el "grupo escolar" de la avenida Bogatell de Josep Lluís Sert de 1933. Se planteó un concepto de escuela organizada en diferentes niveles y donde las aulas estaban conectadas a través de un corredor. El proyecto introduce conceptos tan interesantes como crear una galería acristalada en contacto con las aulas para que éstas puedan utilizar este espacio en días de climas benignos y convertir las clases en espacios al aire libre; tal y como explicaba Sert: "En países de clima templado, como las costas del Levante, los alumnos aprovechan de esta forma, los beneficios del aire libre".

Otros puntos destacados son los conceptos de ventilación, construcción ligera y dimensiones de las aulas (6,50m x 7,00m) que pretenden crear espacios educativos más flexibles y con un funcionamiento bidireccional (figura 15).

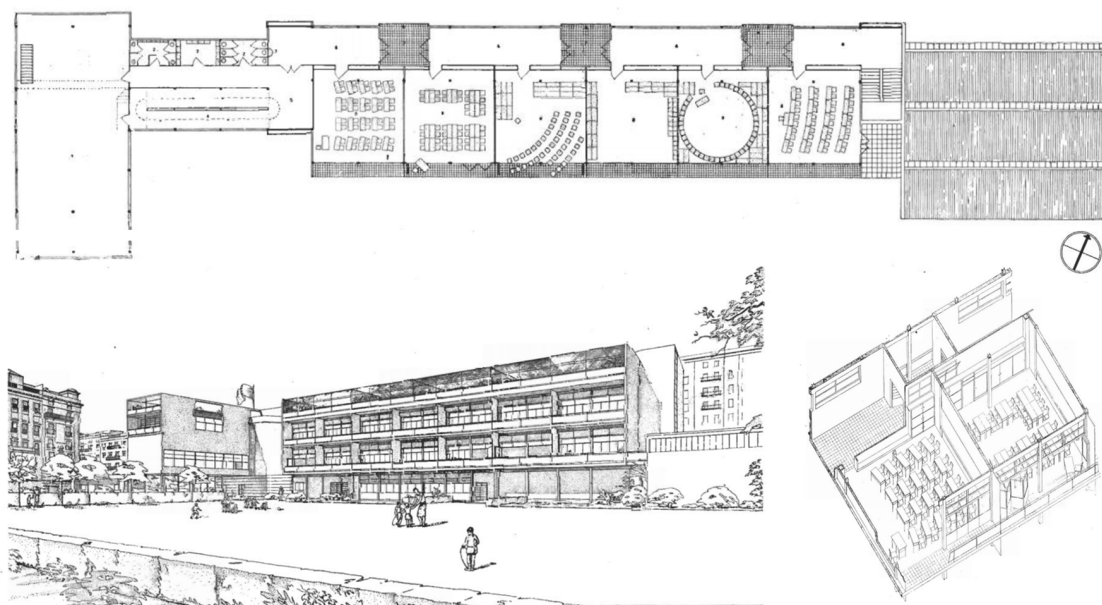


Figura 15_ Grupo escolar avenida Bogatell (Barcelona ,1933)
Josep Lluís Sert

Los años siguientes a la guerra civil, significan un periodo de gran inactividad constructiva. Se sufre un parón en la evolución de conceptos innovadores en la arquitectura escolar, los cuales habían sido planteados los años previos por arquitectos como Sert o los miembros del grupo "GATEPAC". En aquellos tiempos, múltiples revistas arquitectónicas recogieron las experimentaciones de estos arquitectos (figura 16); circunstancia que refleja la importancia que había adquirido el tema escolar en los años previos a la guerra civil. Diferentes especialistas³⁸ en arquitectura escolar consideran que, con la finalización del periodo republicano, se termina la etapa de la "Escuela higiénica y funcional" (1900-1939) que estuvo basado en las instrucciones "higienistas" del año 1905.

³⁷ El Plan Quinquenal de la República preveía la construcción de 7.000 escuelas el primer año y de 20.000 los cuatro siguientes. Posteriormente se publicó el llamado "Plan Nacional de Cultura" para construir 30.000 escuelas en ocho años.

³⁸ MARTINEZ, A., OLIVA, J., OLIVER, J.L. (2015). *Sincronía entre ciclos educativos, métodos pedagógicos y arquitecturas escolares*. Acta del VIII Congreso DOCOMOMO Ibérico.

Capítulo III. La arquitectura escolar
Contexto histórico de los centros escolares en Galicia



Figura 16_ Publicaciones sobre escuelas en los cuadernos n° 9 y 10
Fuente: Documentos de actividad contemporánea A.C.

La reducción en la construcción de escuelas fue debida en gran medida a la situación económica de posguerra en la que se encontraba el país y, a que el gobierno, durante los primeros años del régimen, mostró una actitud poco activa hacia la construcción escolar. Esto se refleja en la "*Ley de Educación de Primaria*" del año 1945, donde en su artículo 17 se indica que el estado se encargará de "*estimular*" la construcción de escuelas y, en caso de que no se realicen centros educativos, tendrá que ser el propio gobierno quien ejecute las obras.

Este proceso involutivo del régimen de Franco produjo un estancamiento en la creación de escuelas públicas y se potenciaron las escuelas privadas. Se trata de años en los que la Iglesia ejerció un importante papel en la educación y en el nuevo modelo de edificio escolar.

Con la ley de 1945 se estableció la educación obligatoria hasta los 14 años y se introdujo un ratio de escolarización de un centro por cada 250 habitantes³⁹. Esta decisión promovió la construcción de muchas escuelas en núcleos rurales, como en el caso gallego donde su territorio estaba organizado en pueblos de poca población y muy dispersos. De esta manera, la "*escuela unitaria*" (figura 17) se convierte en uno de los edificios escolares más importantes de la época, porque daba servicio a municipios de baja población en la que alumnos de diferentes edades estaban agrupados bajo la dirección de un mismo profesor. El otro edificio escolar que se utilizó en aquella época para la educación primaria fueron las "*escuelas graduadas*" y normalmente se ubicaban en núcleos de mayor población.

La escasa producción de edificios escolares de los primeros años del régimen se tradujo en una clara ruptura con la "*tradición progresista*" que existía en los años 20 y principios de los 30. La irrupción del Movimiento Moderno en esos años previos a la guerra había provocado que el edificio fuera sometido a planteamientos de racionalidad y funcionalidad; los cuáles, fueron perdidos en los primeros años de posguerra. De esta manera, se retomó una línea historicista de carácter monumental en la arquitectura escolar de los años 40' (figura 18).



Figura 17_ Escuela unitaria gallega
Fuente: internet



Figura 18_ Colegio Escolapios Pamplona (Víctor Eusa)
Fuente: cuadernos de arquitectura del COACB

³⁹ LAZARO, E. *Historia de las construcciones escolares en España*. Ministerio de Educación. 1975, n°240, p.117.

Además, en aquellos momentos existieron otros factores en el contexto social de España que agravaron el déficit de escuelas, como fueron el crecimiento vegetativo y los movimientos migratorios internos de la sociedad. Esta situación de aislamiento provocó que España se encontrara en los años 40' y 50' al margen de los trabajos iniciados por la "Comisión de Construcciones Escolares" de la "Unión Internacional de Arquitectos" (U.I.A.) en colaboración con la UNESCO⁴⁰ (figura 19).

En el año 1953 en el tercer congreso de la U.I.A. en Lisboa, se trató el tema de cómo satisfacer la necesidad urgente de construcciones escolares en Europa y se determinó cuáles eran los problemas comunes a la mayoría de países:

- Ausencia de escuela por la destrucción de las diferentes guerras sufridas.
- Aumento de la natalidad y movimientos migratorios del rural a la ciudad.
- Ampliación de los años de la enseñanza obligatoria.

La U.I.A. estableció como objetivo la elaboración de un programa de necesidades escolares para los países de Europa. Así pues, destaca la figura del arquitecto Alfred Roth⁴¹, en el "V Congreso Internacional del edificio escolar y de educación libre" quien fue impulsor de la redacción del informe "L'école et ses problèmes" (1955) que trataba sobre los puntos críticos de la arquitectura escolar de cada país y sus posibles soluciones (figura 20).

Una de las conclusiones obtenidas que influyó en prácticamente toda la arquitectura escolar de Europa de aquellos tiempos, fue que se propuso que la construcción de estos edificios estuviera basada en sistemas prefabricados para solventar rápidamente la urgente necesidad de escuelas.

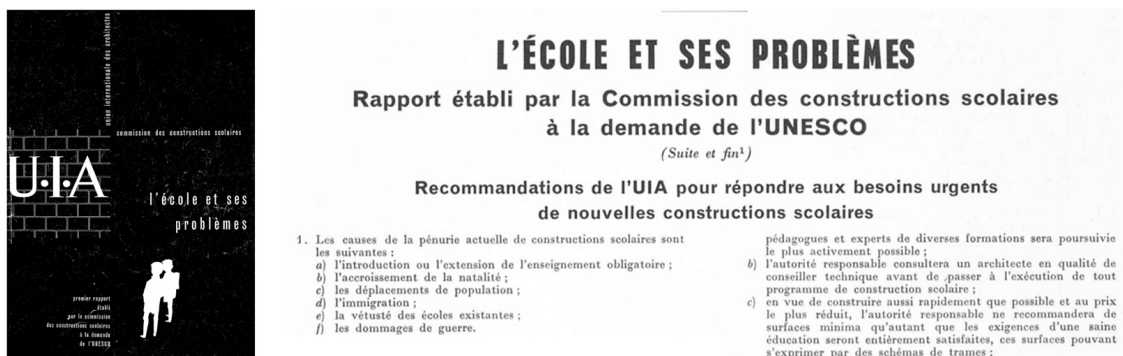


Figura 19 y 20_Portada del informe "L'école et ses problemas" de la U.I.A.

Fuente: internet

En el caso de España se determina que existe un elevado retraso educativo con respecto al resto de países debido a una falta de escuelas y una baja tasa de escolarización. La causa principal es que durante los años previos existió una política educacional limitada con un marcado carácter religioso y con construcciones escolares basados en propuestas monumentales que no tenían que ver con las corrientes pedagógicas de ese momento.

⁴⁰ En 1945 se crea la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) cuyo fin ha sido el de fomentar la construcción de escuelas y de un ambiente cultural basado en la paz.

⁴¹ Arquitecto suizo, experto y teórico sobre la arquitectura escolar, que publicó uno de los manuales más importantes sobre el tema el edificio escolar, "The New School" (1957). Este libro sirvió de referencia para muchos arquitectos españoles.

Plan Nacional de Construcciones Escolares (1956-1963)

Después de este periodo de inactividad constructiva de escuelas públicas en España, se produjo un cambio en la mentalidad y se entendió que la educación no era un gasto sino una inversión. Esta circunstancia coincidió con la apertura internacional que España experimentó en los años 50 lo que facilitó el crecimiento económico y un cambio en la educación. En aquellos momentos, fueron varios los congresos celebrados por la U.I.A. entre 1956 y 1962 en los que debido a la apertura de España hubo presencia de arquitectos españoles. Estas reuniones llevaron la innovación a las nuevas escuelas españolas ya que se produjo un intercambio de conocimientos en estos congresos que influyeron en la manera de hacer arquitectura escolar.

Durante estos años la organización espacial del edificio escolar fue evolucionando desde las soluciones funcionalistas e higienistas de la arquitectura de los años veinte con propuestas al aire libre como la escuela de Johannes Duiker en Ámsterdam (1929).

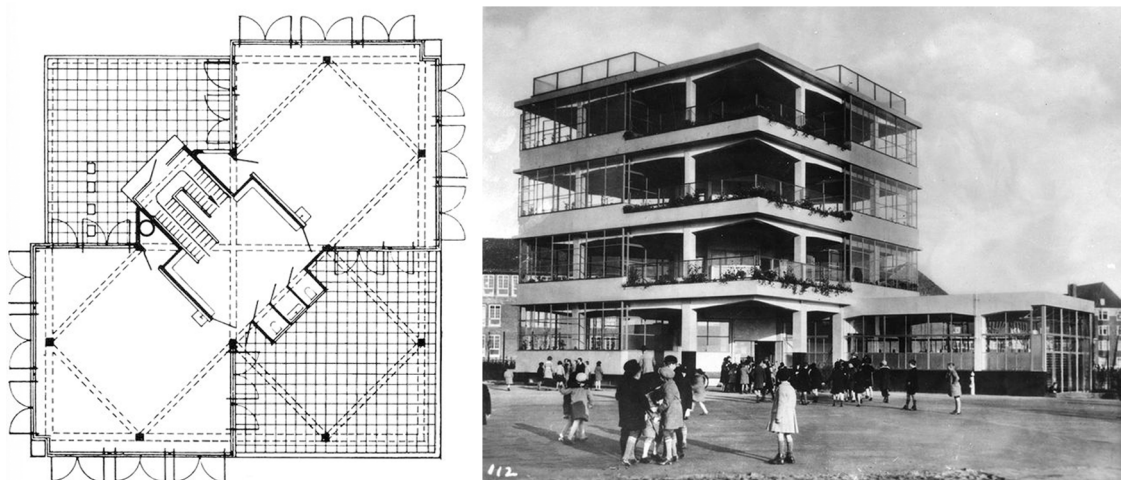


Figura 21_Escuela en Ámsterdam, Johannes Duiker (1929)

Fuente: internet

Posteriormente, los postulados arquitectónicos planteaban que el aprendizaje del alumno no se concebía con un elemento pasivo, sino como el desarrollo de su capacidad para intervenir en la sociedad. Así pues, el aula perdió su significado de "célula autónoma"⁴² para convertirse en una realidad más compleja con espacios de trabajo y actividad colectiva.

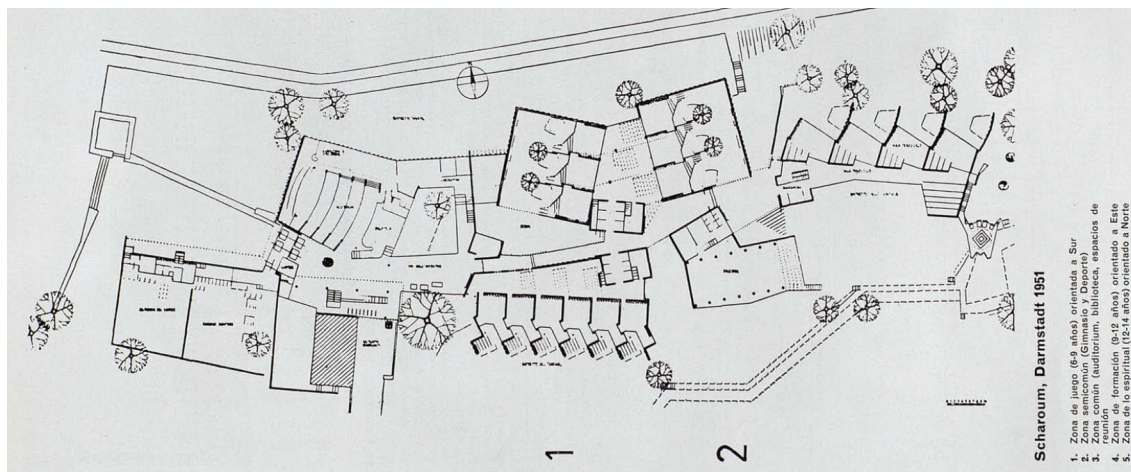


Figura 22_Proyecto escuela Hans Scharoun (1951)

Fuente: Cuadernos de arquitectura y urbanismo, número 89. "Educación y arquitectura escolar"

⁴² BURGOS, F. (2007). *La arquitectura del aula. Nuevas escuelas madrileñas, 1868-1968*. (1ª ed.). Madrid: Ayuntamiento de Madrid.

La escuela requería de un mayor número de espacios para los diferentes usos y en consecuencia las aulas se hacen más flexibles para poder agruparse entre ellas y crear lo que se conocía como “*unidad funcional*”. Además, la escuela era entendida como un “*organismo*” que interaccionaba con la ciudad y por lo tanto adquiría peso en la trama urbana.

Un ejemplo de este tipo de escuela es el proyecto del arquitecto Hans Scharum (1951)⁴³, que según Francisco Burgos destaca por:

[...]Es un edificio muy fragmentado y de gran extensión horizontal, donde se diferenciaban cuatro áreas [...] el primero para niños de 6 a 9 años, enfocaba la actividad como una extensión del juego y por lo tanto las aulas eran recogidas y orientadas a sur, interpretadas como una extensión de la vivienda unifamiliar [...] el segundo, para niños de 9 a 12 años se orientaban hacia el trabajo en grupo y el estímulo de la observación. Cada grupo de aulas se volcaba sobre un patio aislado del ambiente exterior, con una orientación a naciente que permitiera al alumno percibir el carácter cambiante de la luz[...]el tercero, para niños de 12 a 14 años y se le atribuía la formación de la personalidad del niño por lo que los espacios se proyectaban abiertos y bañados por la luz uniforme del norte que invitaba a la concentración y reflexión[...]la última área servía para encauzar las experiencias comunes entre los otros tres y regular el contacto con el mundo externo[...]

Este proyecto, como plantea su arquitecto aborda el concepto de la escuela como un organismo vivo dentro de la ciudad, para lo que configura una arquitectura de formas orgánicas. Pero por otro lado, también se desarrollaron planteamientos con geometrías más integradoras con la ciudad existente; de entre este tipo de arquitectura escolar destaca la propuestas de Arne Jacobsen para la escuela danesa de Munkegaard (1951-1958). Planteó una solución en pabellones, donde los corredores se disponían de manera perpendicular a las aulas de manera que reducía los desplazamientos y permitía que cada aula se pudiera comunicar con la contigua creando un espacio de trabajo común.



Figura 23_Escuela en Munkegaard, Arne Jacobsen (1951-1958)

Fuente: internet

Así pues, la apertura de España hacia el mundo permite estar en contacto con estas tendencias en arquitectura escolar y comprender sus influencias en la educación de la población. Por tanto, se consideró la alfabetización una cuestión urgente y en consecuencia se inicia también en España un largo periodo de experimentación y producción arquitectónica con la realización de diferentes planes de construcción de escuelas que permitieron la creación de un gran número de escuelas. En la tesis doctoral “*La Construcción de la Escuela Activa en España, 1956-1972*”⁴⁴ de Isabel Durá se indica el momento de cambio que se estaba viviendo:

[...]En este proceso histórico, la cultura escolar reflejó el impacto de los condicionantes políticos, así como la influencia de los procesos de modernización por los que pasaba la sociedad y la educación en España [...]

⁴³ Proyecto de escuela presentado en el congreso “Hombre y Espacio” de Darmstadt en 1951.

⁴⁴ DURÁ, I. (2013). “*La Construcción de la Escuela Activa en España, 1956-1972*”. Dir. J.M. Otxotorena Elícegui. Universidad de Navarra, Pamplona.

Se trata de uno de los periodos de mayor relevancia para la escuela pública española por el número de edificios que se construyeron entre los que encontramos ejemplos en la presente tesis doctoral. La construcción de escuelas se organizó en diferentes etapas con resultados distintos, pero según fuentes consultadas entre 1956 y 1972 se construyeron alrededor de 50.000 aulas (10.000 escuelas). Así pues, el primer plan que se creó con vocación de resolver el problema educativo fue el “Plan Nacional de Construcciones Escolares de 1956”.

Como objetivo principal el primer año se estableció la necesidad de construir 18.386 aulas⁴⁵ con las correspondientes viviendas para los maestros para sustituir los locales de baja calidad donde se impartía clase hasta ese momento. Para ello fue necesario determinar la cantidad de centros escolares que cada región necesitaba tal y como se ve en la “tabla 05” con fecha del 1 de enero de 1957:

NECESIDADES ESCOLARES POR PROVINCIAS (1 de enero de 1957)

PROVINCIA	Unidades Escolares Necesarias	PROVINCIA	Unidades Escolares Necesarias
Álava	28	Albacete	393
Alicante	430	Almería	234
Ávila	97	Badajoz	912
Baleares	74	Barcelona	677
Burgos	137	Cáceres	318
Cádiz	1.122	Castellón	92
Ciudad Real	450	Córdoba	806
A Coruña	925	Cuenca	167
Girona	60	Granada	838
Guadalajara	21	Guipúzcoa	272
Huelva	426	Huesca	42
Jaén	820	León	247
Lérida	93	Logroño	42
Lugo	129	Madrid	1.059
Málaga	832	Murcia	479
Navarra	68	Ourense	125
Oviedo	490	Palencia	76
Las Palmas	473	Pontevedra	729
Salamanca	82	Santa Cruz de Tenerife	468
Santander	75	Segovia	46
Sevilla	2.048	Soria	4
Tarragona	169	Teruel	29
Toledo	470	Valencia	436
Valladolid	245	Vizcaya	-
Zamora	49	Zaragoza	81
	TOTAL		18.386

Tabla 05_Necesidades escolares por provincias
Fuente: elaboración propia

Para asumir el elevado número de construcciones escolares planteado y que se pudiera resolver en el menor tiempo posible, aparece por primera vez la figura de los “proyecto tipo”. Se trata de una solución normalizada que permitía un sistema de construcción estándar, el cuál permitía repetir su construcción fácilmente por diferentes regiones y abaratar los costes finales.

Los proyectos debían ejecutarse siguiendo las “Normas Técnicas para Construcciones Escolares⁴⁶” que introducían ciertos conceptos arquitectónicos para obtener una mejor arquitectura escolar. Aunque de manera muy superficial ya se planteaban temas asociados a los conceptos energéticos como el soleamiento, ventilación y orientación como a continuación se mencionan:

- Condiciones térmicas de los edificios:

Se establece que para las zonas con climas más extremos los valores de transmitancia térmica del cerramiento no debería ser superior a 1,4 kcal/m²C y en cubierta a 1,8kcal/m²C.

⁴⁵ RUBIO GARCIA-MINA, J. (1961). *La Educación Nacional española, 1957-1961*. Revista de educación – Crónica, 134 (XLVI), 60-69. Madrid: Ministerio de Educación.

⁴⁶ Orden de 20 de enero, sobre las Normas Técnicas para la construcción de Escuelas Nacionales de Enseñanza Primaria, BOE núm. 68 § 1551-1553 (1956).

Estos valores equivalen a $1,66\text{W/m}^2\text{K}$ y $2,16\text{W/m}^2\text{K}$, lo que indica que aunque limitaban las pérdidas por transmisión térmica aún se encontraban muy lejos de los límites actuales.

- Instalaciones activas

Se insta a introducir sistemas de calefacción novedosos como el suelo radiante:

*"[...] eran ventajosos los sistemas de calor en el suelo, bien en forma de paneles
radiantes bien en forma de instalaciones cerradas de aire caliente [...]";*

Un dato significativo es que la temperatura mínima exigible en el interior de las aulas era de 14°C , situación que se encuentra muy por debajo del estado de confort de los usuarios.

- Orientación:

Se indica que la orientación idónea sería "SE"; siendo aconsejable en climas cálidos una orientación entre "N" y "E". Además indicaban que se debía evitar el soleamiento directo de las clases y tener cuidado con los deslumbramientos que se producirían en las fachadas "O" y "E".

- Formas constructivas:

Se insta a escoger soluciones modulares que permitieran la economía de las propuestas y a materiales de fácil conservación.

Por lo tanto, se comprueba que aunque quedaban muchos años para que se implantara la primera normativa técnica sobre edificación en nuestro país; la aparición de las normas técnicas mostraba una preocupación por que la arquitectura escolar cumpliera con unas exigencias mínimas. Esto se relaciona directamente con la apertura que España estaba realizando hacia el mundo durante esos años lo que permitía que se introdujeran planteamiento teóricos tenidos en cuenta en otras zonas de Europa.

Un aspecto destacado en este 1^{er} periodo de construcciones fue el "I Concurso de escuelas rurales tipo" convocado el 3 de octubre de 1956 y donde se buscaban soluciones tipo para la escuela unitaria clasificadas en siete zonas climáticas distintas para todo España.

Destaca entre todas las propuestas la solución de "micro-escuelas" de Rafael de la Hoz⁴⁷ que tenía en cuenta conceptos de iluminación bilateral, ventilación cruzada, empleo de materiales prefabricados y la creación de un espacio exterior que se define como una extensión del aula.

El interés de la solución radica en que si se disminuyen las dimensiones y se emplean elementos prefabricados se podía construir un gran número de escuelas económicas y con una rápida ejecución (figura 24).

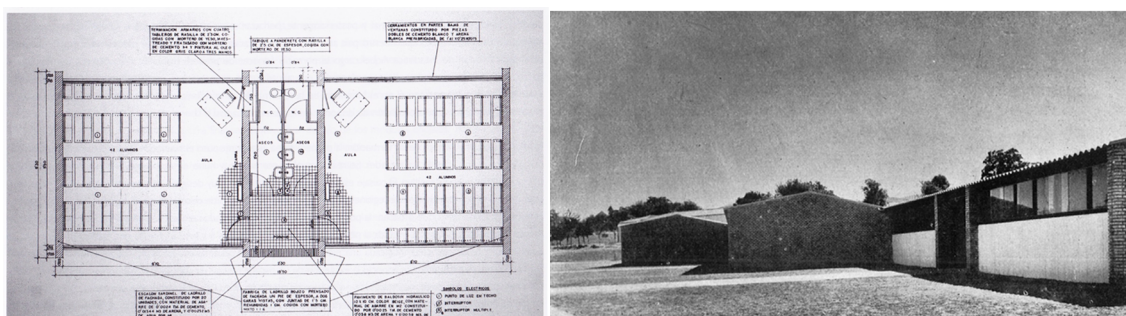


Figura 24 Proyecto escuela unitaria, Rafael de la Hoz (1956)

Fuente: MARTINEZ, A. "Modernidad y vigencia en la arquitectura escolar de Barcelona y Valencia (1956-1968)"

⁴⁷ Concurso de escuelas, Revista Nacional de Arquitectura, 1957, n.º.183, p.21-22.

Como consecuencia del proceso de emigración interna de España, desde las zonas rurales a las urbes, se detectó que también existía una demanda de edificios escolares por lo que en el año 1957 se convoca el “II Concurso de prototipos para escuelas graduadas” con los arquitectos que habían obtenido una mención en el concurso de 1956.

De entre todas las propuestas destacan las de Luis Vázquez de Castro con cuatro propuestas para diferentes zonas climáticas que resultaron ganadoras por su adaptación al clima, la imagen formal y economía de la propuesta (figura 25).

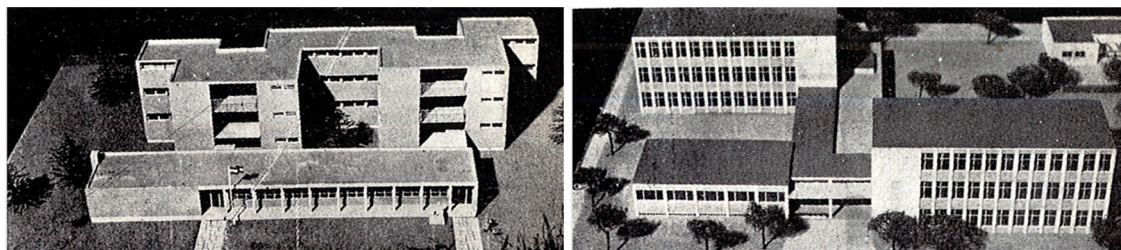


Figura 25_Propuesta 01 - “zona calidad”. Proyecto de Luis Vázquez de Castro
Propuesta 02 – “zona fría”. Proyecto de Mariano García Benito y Santiago Fernández Pirla
Fuente: Revista COAM, nº183

Los resultados de este primer plan no alcanzaron los objetivos propuestos inicialmente de construir 25.000 aulas. Finalmente se ejecutaron un total de 22.788⁴⁸, aun así significó un porcentaje de éxito porque si se compara con los primeros años del régimen, tan sólo se habían construido 4.500 aulas.

En la “tabla 06” se indican los resultados finales obtenidos por provincias con el “Plan Nacional” y se sombrea en rojo las regiones que no alcanzaron los objetivos de 1957. Entre las que se quedaron por debajo destacan en el caso de Galicia la ciudad de A Coruña.

ESCUELAS CONSTRUIDAS PARA MAESTROS ENTRE 1957 Y 1963

PROVINCIA	Unidades Escolares Construidas	PROVINCIA	Unidades Escolares Construidas
Álava	145	Albacete	521
Alicante	446	Almería	463
Ávila	298	Badajoz	875
Baleares	157	Barcelona	819
Burgos	379	Cáceres	550
Cádiz	791	Castellón	265
Ciudad Real	593	Córdoba	952
A Coruña	667	Cuenca	341
Girona	156	Granada	856
Guadalajara	135	Guipúzcoa	189
Huelva	443	Huesca	148
Jaén	792	León	552
Lérida	311	Logroño	180
Lugo	465	Madrid	740
Málaga	701	Murcia	465
Navarra	326	Ourense	627
Oviedo	713	Palencia	164
Las Palmas	394	Pontevedra	394
Salamanca	377	Santa Cruz de Tenerife	580
Santander	215	Segovia	342
Sevilla	1.348	Soria	110
Tarragona	206	Teruel	195
Toledo	426	Valencia	794
Valladolid	280	Vizcaya	304
Zamora	241	Zaragoza	359
TOTAL		22.788	

Tabla 06_Resultados del número de escuelas construidas en el Plan Nacional de 1956
Fuente: elaboración propia

⁴⁸ LAZARO, E. *Historia de las construcciones escolares en España*. Ministerio de Educación. 1975, nº240, p.120.

I Plan de Desarrollo Económico y Social (1964-1967)

El primer plan nacional de construcciones supuso un gran avance pero no fue suficiente; el análisis realizado en 1964 a su finalización estableció que aún existía un déficit de escolarización muy alto. Se cifró que aún era necesario construir 27.550 escuelas en los siguientes años de las cuales la mayoría querían ser ejecutadas mediante el "*I Plan de Desarrollo Económico y Social*" (1964-1967).

Resulta significativo que la estimación de centros para este segundo plan fuera prácticamente idéntica a la del primero. Los motivos de que la previsión fallara tan estrepitosamente son dos: en primer lugar en estos años se produjo un movimiento demográfico muy importante de los pueblos a las ciudades lo que provocó que las necesidades se concentraran en otros puntos. En segundo lugar, la década de los años 60 produjo un cambio en el sistema pedagógico y esto provocó que muchas escuelas necesitaran ser adaptadas con lo que aumentaron las previsiones de construcción.

Con respecto a este último punto, se detectó que la "*escuela unitaria*" era un sistema de muy baja calidad y que por lo tanto muchas de las construcciones del "*Plan Nacional*" (1956-1963) eran de este tipo y se quedaron obsoletas rápidamente. Por lo tanto, el "*I Plan de Desarrollo*" plantea cerrar paulatinamente las "*escuelas unitarias*" y realizar una transferencia del alumnado a las "*escuelas graduadas*" que se encontraban en los núcleos de mayor población. Se cifró que en aquellos momentos existía en todo el estado un total de 43.000 escuelas de un solo maestro, es decir escuelas en las que los alumnos de seis a catorce años recibían la enseñanza en la misma aula.

Es importante destacar que en aquellos años se tomaron en cuenta dos recomendaciones internacionales; en primer lugar, el modelo educativo español debía de aumentar los años de enseñanza obligatoria hasta los 14 años y seguir reduciendo la elevada tasa de analfabetismo. En segundo lugar, era necesario que para que no sucedería lo del "*Plan Nacional de 1956*" se construyeran centros escolares que pudieran adaptarse más fácilmente a los cambios de la sociedad (demográficos y pedagógicos). Esta última circunstancia marca un importante hito en el desarrollo de la arquitectura escolar ya que en 1966 se convoca el "*Concurso de Proyectos Tipo de Colegios Nacionales*"⁴⁹ para investigar sobre diferentes soluciones arquitectónicas.

Se trató de un concurso creado con la intención de replantearse los "*prototipos de escuelas nacionales*" (unitaria y graduadas) y que sirvió de anticipo de un nuevo plan de escuelas desarrollado entre los años 1968-1971 a través del "*II Plan de Desarrollo Económico y Social*". Las bases del concurso proponían aulas más flexibles que estuvieran más relacionadas e interconectadas entre ellas. Se planteaba la necesidad de crear una sala de "uso-polivalente" (destinada a varios usos como comedor, gimnasio, capilla...) que debía ser el elemento aglutinador de la escuela. Para el diseño de los prototipos se distinguían tres zonas climáticas que permitieran ser adaptados a toda la geografía española:

- Zona lluviosas y de montaña.
- Zonas costera mediterránea y atlántica de clima templado.
- Meseta interior de clima continental.

Se presentaron bastantes soluciones, pero el jurado emitió un informe en el que incidía en los factores de evaluación (sencillez, economía y adaptabilidad) y criticaba la falta de soluciones idóneas. Esta exigencia tan alta del jurado se tradujo en que sólo escogieron siete soluciones como proyectos de referencia. Entre las opciones ganadoras destacaron las soluciones funcionales mixtas entre propuestas de pabellones y compactas, porque esto permite

⁴⁹ Orden de 7 de marzo, por la que se convoca el jurado para examinar los trabajos del concurso de proyectos-tipo de Colegios Nacionales convocado por Orden de 27 de septiembre de 1966, BOE núm. 66 § 3745 (1967).

tener una mayor adaptabilidad al solar. Por otro lado las aulas presentaban soluciones flexibles para poder tener diferentes configuraciones de uso y no eran configuradas como aulas independientes. Otra característica destaca entre todas las propuestas fueron los sistemas constructivos industrializados (figura 26).

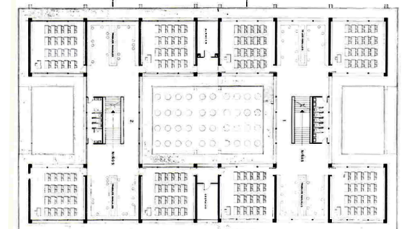
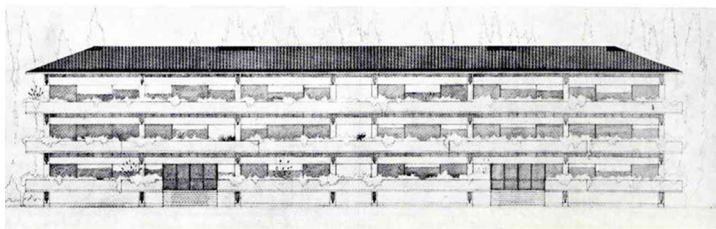


Figura 26.01_1^{er} Premio. “Zona Meseta”
Arquitectos: F. Higuera, A. Miró y J.M. Medrano

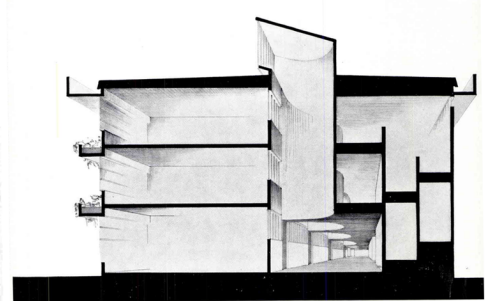
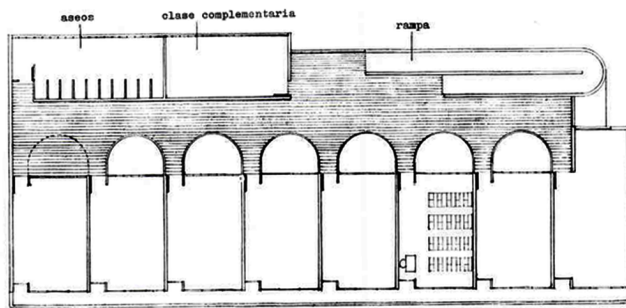


Figura 26.01_Accesit. “Zona Mediterránea y Atlántico Templado”
Arquitecto: Rafael Moneo.

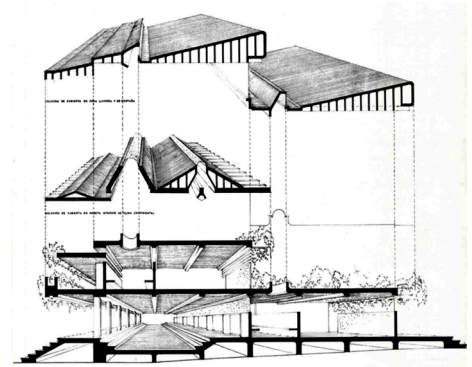
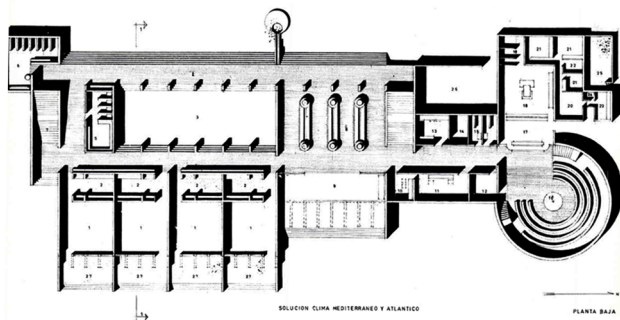


Figura 26.01_Accesit. “Zona Mediterránea y Atlántico Templado”
Arquitecto: Antonio Fernández Alba.

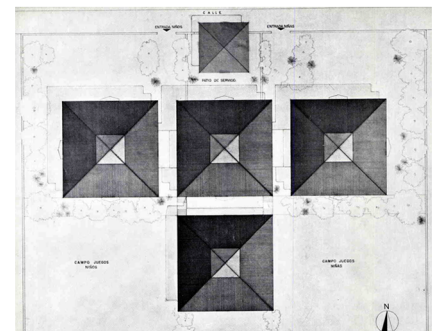
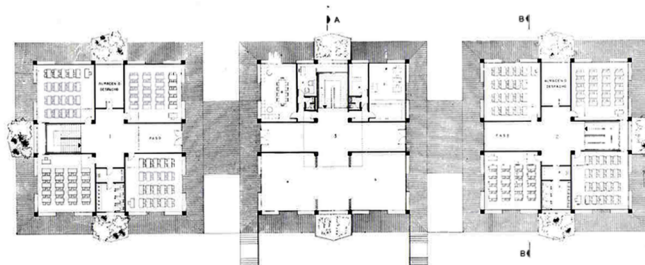


Figura 26.01_Accesit. “Zona Montaña”
Fuente: Revista COAM, nº102

II Plan de Desarrollo Económico y Social (1968-1971)

En 1968 se produce la llegada de José Luis Villar Palasí al Ministerio de Educación y se inicia una reforma educativa de calado en la sociedad. Hasta el momento las regulaciones que se habían llevado a cabo en educación habían sido parciales, pero en este momento se inicia un nuevo periodo con dos objetivos: la creación de la "*Ley General de Educación (LGE)*" (1970) y la implantación del "*II Plan de Desarrollo Económico y Social*" (1968-1971) que permitiera la construcción de colegios públicos⁵⁰ basados en el nuevo sistema pedagógico.

Se entiende que para este nuevo tiempo en la educación es necesario crear un nuevo tipo de centro escolar que debía ser muy flexible en cuanto a sus espacios para permitir un modelo de aprendizaje basado en la interrelación de los alumnos.

El cambio que el gobierno buscaba en la sociedad debía nacer desde los propios espacios educativos y para ello es muy significativo la aparición en 1969 del "*Libro Blanco de la Educación*" donde se planteaban las nuevas orientaciones pedagógicas que se querían implantar. Se pretende romper con la estructura tradicional de escuela donde el aula está formada por grupos homogéneos y de enseñanza frontal. Por lo tanto, se pretende un avance hacia un nuevo concepto arquitectónico que favorezca la creación de espacios no estáticos, los cuáles permitan una interrelación educativa de los alumnos.

Con respecto a este último punto es de destacar una interesante iniciativa que nació a través del "*Premio Nacional de Arquitectura*". Bajo su continua labor de transmisión de la arquitectura, en el año 1971 planteó un concurso para diseñar el "nuevo modelo de escuela" de Educación General Básica (EGB) que la nueva ley quería introducir en España. Se buscaba obtener una "solución tipo" que no respondería a ningún tipo de condicionante físico. El objetivo principal era investigar en cómo debería ser la nueva escuela según el nuevo sistema pedagógico y poder alcanzar una solución que resolviera al máximo los requerimientos conceptuales y funcionales de la LGE.

La propuesta ganadora fue de los arquitectos José Manuel López-Peláez y Julio Vidaure con la colaboración de los estudiantes Javier Fechilla y Eduardo Sánchez⁵¹. Este equipo planteó una doble hipótesis basado en el concepto de: claridad estructural y modulación para poder obtener la mayor libertad en el funcionamiento del centro. El diseño se estructuró mediante una solución lineal que permitiera claridad en las circulaciones y un posible crecimiento en el futuro del centro; por otro lado para evitar largos desplazamientos plantearon la "superposición" en varios niveles de los espacios educativos. Además la modulación del proyecto permite crear un sistema constructivo más económico y con mayor flexibilidad para sumar, restar o dividir espacios educativos.

Se transforma el aula tipo en dos espacios llamados "*área coloquial*" y "*zona de trabajo personalizado*". La primera de ellas tiene más una función de trabajo en aula y la segunda es un espacio que se conecta con las aulas para desarrollar trabajo en equipo entre alumnos de diferentes edades. Las "*zonas de trabajo personalizado*" están formadas por un espacio en forma de graderío para poder realizar el desarrollo de grandes actividades en grupo tal y como aparecen en la figura 27.

El resto de propuestas premiadas apostaban por soluciones que creaban espacios de relación entre las aulas como "*patios*" o "*vestíbulos*". Se planteaba asemejar el espacio de uso-polivalente a una plaza de ciudad, estableciendo que dicho espacio se encontrara en una posición central del colegio para que todo gire en torno a él. Con los prototipos de este concurso se pretendía alcanzar una "*escuela activa*" y de "*usos dinámicos*".

⁵⁰ Con la LGE, las escuelas de primaria pasan a llamarse "*colegios públicos*".

⁵¹ AA.VV. (1972). Modelo de centro para E.G.B.: Premio Nacional de Arquitectura. *Cuadernos de arquitectura y urbanismo*, nº88, pp.66-72.

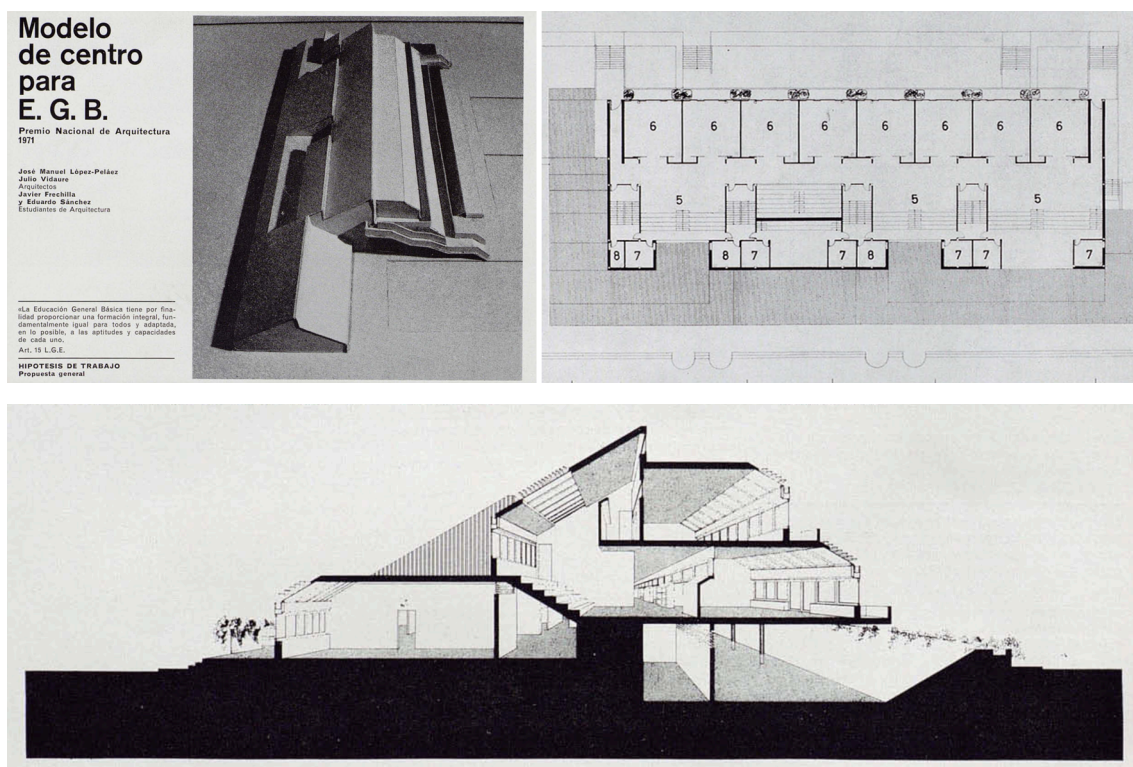


Figura 27_Premio Nacional de Arquitectura al prototipo de centro de EGB.

Arquitectos: José Manuel López-Peláez y Julio Vidaure

Fuente: Cuadernos de arquitectura y urbanismo del COACB (1972). Número 88

Con la implantación de la "Ley General de Educación" (1970) se estableció la educación obligatoria y gratuita desde los seis a los trece años inclusive, lo que se ha considerado como el mayor logro de todos los objetivos que planteó esta ley educativa. Además para los alumnos que no continuaran con el BUP⁵² deberían cursar dos años más de Formación Profesional. Esta prolongación de la educación provocó que la demanda de aulas aumentara, así que lo primero fue determinar las necesidades por comarcas, municipios y localidades. En dicha planificación se planteó qué centros debían ser transformados, cuáles ampliados y en qué núcleos era necesario la construcción de nuevas escuelas. Con este análisis se estableció que el número de puestos escolares que se necesitaba era de 1.138.010⁵³.

El estudio de las necesidades de cada región trajo consigo el planteamiento de iniciar el cierre progresivo de muchas "escuelas unitarias" ubicadas en los pueblos. Se estableció un ratio de 1 aula por cada 30 niños, que pretendía concentrar a los alumnos de pueblos dispersos en escuelas de mayor tamaño y donde existiera una educación graduada y en consecuencia de mayor calidad. La década de los 70 fue un período de agrupación escolar tal y como lo expresa el inspector escolar Jesús Jiménez:

"[...] Las concentraciones escolares tienen su precedente en las agrupaciones de comienzos de los sesenta, [...] pero es a partir de la Ley General de Educación [...] cuando comienza la creación de centros comarcales de enseñanza y consiguientemente la supresión de escuelas unitarias y mixtas"⁵⁴

Por lo tanto, estos tres aspectos explicados: "concentración del alumnado", "nueva pedagogía educativa" y la experimentación sobre el "nuevo modelo de escuela pública"

⁵² Bachillerato Unificado Polivalente

⁵³ Ministerio de Educación y Ciencia, *Informe sobre la escolarización en Enseñanza General Básica*, 24 de noviembre de 1972. Madrid, 1972, p. 29.

⁵⁴ JIMENEZ, J. (1983). "La escuela unitaria". (p.29). Barcelona: Laia 1983.

determinaron los requisitos que debían tener los centros escolares de educación primaria a partir de este momento. Para ello se publicó mediante la Orden Ministerial del 10 de febrero de 1971⁵⁵ un programa de necesidades sobre: espacios, usos y dimensiones que indicaba lo siguiente:

"Para llevar a cabo la educación personalizada que señala la ley se considera fundamental atender al proceso detallado de aprendizaje del alumno [...] La atención de las diversas situaciones de este aprendizaje requiere una flexibilidad de agrupación de los alumnos, y consecuentemente, una serie de espacios y ambientes adecuados que faciliten estas actividades en sus diferentes agrupaciones [...]"

En este mismo boletín, se indica como debe ser el esquema orgánico de las áreas docentes de un centro de EGB tal y como se ve en la figura 28. Además se establecen diferentes recomendaciones para la creación de los diseños de centros escolares de acuerdo a conceptos: estéticos, constructivos, organizativos, de interrelación y de usos. Además se determinan tres tipos de programas de necesidades para los centros de educación primaria según la población a la que dieran servicio:

- 8 Unidades para 320 alumnos.
- 16 Unidades para 640 alumnos.
- 22 Unidades para 880 alumnos.

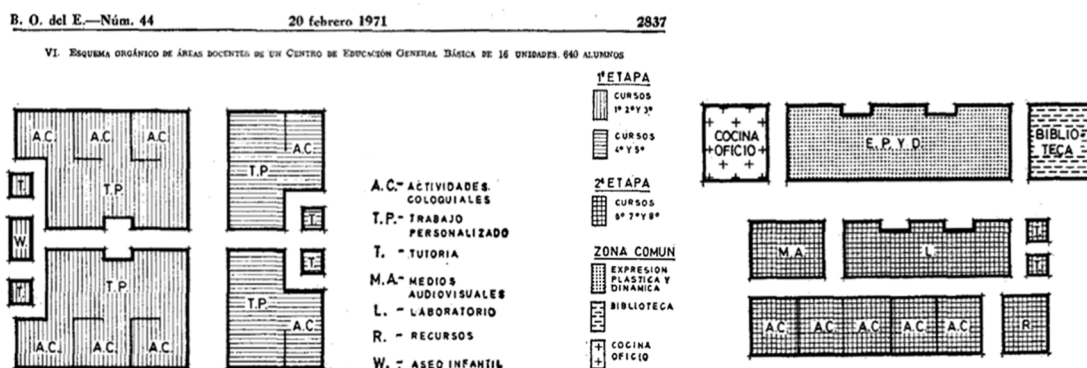


Figura 28_ esquema funcional de cómo debe de ser el centro de 16 unidades.

Fuente: BOE 20 febrero 1971

Una característica de esta ley, fue la celeridad con la que se quiso llevar a cabo el proceso de construcción de las nuevas escuelas. Se planteó ejecutar las obras en menos de un año y que los nuevos centros entraran en funcionamiento en el curso siguiente (1970-1971).

Para llevar a cabo este objetivo se crearon los llamados "Planes de Urgencia"⁵⁶ que pretendían reducir o eliminar el déficit escolar en las zonas de España donde era más grave. Con esta finalidad se crearon ocho planes⁵⁷: Andalucía (55.040 puestos escolares), Galicia (41.280), País Vasco (34.800), Canarias (30.560), Valencia (39.840), Madrid (50.160), Barcelona (78.080) y Asturias (17.040).

III Plan de Desarrollo Económico y Social (1972-1975)

Para explicar este tercer plan es muy importante establecer una contextualización histórica, ya que España durante este periodo de construcciones se ve afectado por la crisis del petróleo de 1973, lo que provoca que su economía entre en crisis y que lastre su desarrollo.

⁵⁵ Programa de necesidades docentes, Orden por la que se aprueba el programa de necesidades docentes para la redacción de proyectos de Centros de Educación General Básica y de Bachillerato, BOE núm. 44 § 2833-2841 (1971).

⁵⁶ Orden de 20 de septiembre, sobre el concurso para la construcción de 73 Colegios Nacionales de Educación General Básica en Galicia, BOE núm. 229 § 15536 (1971).

⁵⁷ LAZARO, E. *Historia de las construcciones escolares en España*. Ministerio de Educación. 1975, nº240, p.123.

Como consecuencia de esta situación se produce un recorte en los objetivos que se querían alcanzar con los nuevos centros de educación primaria para reducir los costes de construcción. Supone, por lo tanto, un retroceso en el modelo de edificio planteado durante el II Plan de Desarrollo. La *"educación personalizada"* que se planteó con el nuevo modelo de edificio y la entrada en vigor de la LGE irá desapareciendo poco a poco y se perderá la flexibilidad de los espacios hasta volver al modelo de *"enseñanza graduada"* que será el sistema educativo en España que se mantendrá durante el resto de años del siglo XX y principios del XXI.

Las nuevas normas sobre el edificio escolar se materializan en la orden ministerial del 14 de agosto de 1973, que se traduce en un propósito de conseguir una edificación más compacta y con menos espacios flexibles y de relación entre alumnos para favorecer soluciones constructivas más económicas. Las nuevas normas reguladoras de esta orden ministerial suponen un gran retroceso en cuanto a calidad arquitectónica de las construcciones escolares. Se suprime la *"zona de trabajo personalizado"* que era el gran espacio para actividades en grupo por ciclos de diferentes edades y que permitía tener un sistema de enseñanza en equipo y pasar de nuevo al sistema de enseñanza de un profesor por cada 40 alumnos. Una circunstancia que se ha detectado es que el nuevo sistema pedagógico que se quería implantar, había establecido la necesidad de un tipo de centros (la mayoría de los colegios de los Planes de Urgencia) con espacios destinados a la nueva metodología, pero los profesores no había sido formados en este tipo de enseñanza. Esta circunstancia permitió justificar y eliminar estos *"espacios en grupo"* por la vuelta al sistema educativo tradicional de aulas como células independientes. Aunque la verdadera justificación es que según se determinó el coste de construir los nuevos centros basados en la O.M. de 1971 eran excesivamente caros y con el gasto de dos colegios de este tipo se podría cubrir la construcción de tres colegios con las nuevas normas de la O.M. de 1973.

En los primeros años de este plan, se cifra que será necesario la construcción en 1972 de 232.160 puestos, mientras que en 1973 será de 219.120 puestos. Para cumplir con las necesidades durante estos años se elimina la figura de los *"Planes de Urgencia"*, por no resolver de manera unitaria el problema de escolarización en España y porque había estado basado en el modelo de centro escolar de una educación *"personalizada"* que era mucho más costoso.

Para poder cumplir con los nuevos plazos y construir todos los colegios se convocaron diferentes concursos para diseñar diferentes *"proyecto tipo"*⁵⁸ que pudieran reducir costes y ser rápidamente puestos en funcionamiento. Esta decisión trajo consigo que encontremos el mismo edificio escolar repetido en diferentes zonas de España. Se planteó a través del concurso diseñar una propuesta basada en el modelo de 16 unidades y con dos variantes una de 8 y otra de 24 para una mayor adaptabilidad. Además se establecía que debía ser propuestas para cuatro zonas climáticas. Finalmente cada uno de estos proyectos tipo necesitaría de un proyecto complementario para adaptarlo a las características de la parcela donde se construiría.

Aún con los problemas económicos de la crisis del petróleo, los *"proyectos tipo"* permitieron que durante el curso 1974-1975 se consiguiera por fin cubrir la demanda de plazas escolares en educación primaria de toda España. El problema que surge después de alcanzar este objetivo es que, aunque existan suficientes puestos de escolares, no existe un reparto equitativo en cuanto a la calidad y por lo tanto no todos los colegios tienen unas condiciones idóneas para la enseñanza. Un ejemplo de esta circunstancia es que aún existen 11.839 escuelas unitarias y mixtas por toda la geografía.

A esta circunstancia hay que unir un nuevo factor que entra en escena y que es el inicio del proceso de descentralización sobre las competencias del gobierno central para que las diputaciones aborden la construcción de sus centros a partir de los próximos años.

⁵⁸ Orden Ministerial del 13 de noviembre, por la que se convoca un concurso público para la adquisición de los derechos a la utilización exclusiva de *"proyectos tipo"* para la construcción de escuelas.

Plan Extraordinario de Escolarización (1979-1980)

Con el fin del régimen franquista se inicia una nueva etapa de construcciones escolares que será abordada a través de los acuerdos de los "Pactos de la Moncloa" (1977)⁵⁹. Se estableció la creación del llamado "Plan Extraordinario de Escolarización" que pretendía eliminar el "déficit funcional"⁶⁰ que existía en diferentes zonas de España.

Por primera vez en la historia existía una tasa de escolarización en la enseñanza primaria del 100% pero la calidad de enseñanza era baja debido a dos factores básicamente: aún seguían existiendo un número importante de escuelas unitarias y los ratios de alumnos por aula eran demasiado elevados. Por lo tanto, con este plan se pretende definitivamente solucionar la calidad de los lugares de enseñanza.

Los Pactos de la Moncloa determinaron que, en lo relativo a la parte de educación, se establecían dos puntos importantes: en primer lugar, la democratización del sistema educativo para alcanzar un sistema de enseñanza que fuera totalmente gratuito en todos sus niveles. En segundo lugar, se construirían un total de 400.000 plazas de Educación General Básica (EGB), mediante la construcción de centros escolares que permitieran acabar con el "déficit de calidad" de las escuelas.

Fue necesario llevar a cabo una política de colaboración entre las administraciones (estatales y municipales) debido a la política descentralizadora que empezaba a existir, para obtener suelo a buen precio y con rapidez. El objetivo era erradicar las malas condiciones de escolarización que existían en ciertas regiones en las cuáles se llegaba a ratios de 50 alumnos por aula.

Los mecanismos que se introdujeron para solventar el problema de las instalaciones escolares fueron dos:

- Construcción de centros escolares con sistemas prefabricados que permitieran una mayor economía y rapidez.
- Creación del programa RAM (Renovación, Ampliación o Mejora) para intervenir en las edificaciones escolares existentes.

El Ministerio de Educación elaboró un plan de atención escolar para poder priorizar en las zonas más deprimidas de España y conseguir que existiera una política de igualdad compensatoria entre todas las regiones. Así pues, se establece los objetivos de construir un total de 635 escuelas y la mejora de 491 centros.

En el año 1978 con las necesidades existentes sobre escolarización el gobierno promueve un importante concurso arquitectónico a nivel de proyecto básico para el diseño de "proyectos-tipo" que permitieran la construcción de centros docentes durante el programa de 1979-80. El objetivo del concurso era conseguir once soluciones arquitectónicas diferentes entre las que se podría elegir la más adecuada para cada emplazamiento. Las diferentes propuestas nunca llegaron a ver la luz y tan sólo sirvieron para realizar una exposición itinerante. Aunque se destacó la gran calidad de las propuestas arquitectónicas hubo un motivo principal para que no se ejecutaran y fue que por aquellos años se quería cambiar el modelo educativo y, por lo tanto, no se quería mantener un centro escolar basado en un sistema graduado.

Este razonamiento podría haber sido lógico, pero durante la década de los años 80 el debate de cómo se "re-estructura" el sistema educativo se prolongó y finalmente nunca se cambió el sistema de enseñanza graduada. Por lo tanto, el no utilizar estos diseños como

⁵⁹ El Gobierno de Unión de Centro Democrático (UCD) publicó íntegramente los Acuerdos de la Moncloa en Biblioteca del Congreso de los Diputados. *Los Pactos de la Moncloa, Madrid 8-27 de octubre de 1977. Texto completo del acuerdo económico y del acuerdo político*. Presidencia del Gobierno, Colección Informe, Madrid, 1977.

⁶⁰ Se consideraba "Déficit Funcional" a todas aquellos centros que no tenían un sistema de educación graduado como eran las escuelas unitarias, mixta o aulas provisionales que sobre todo se localizaban en zonas rurales y áreas de las ciudades de grandes desarrollos industriales que se construyeron muy rápidamente en los años previos a la Transición.

modelo de centro y mantener soluciones más simples como se hizo en los siguientes años fue un error ya que el sistema se mantuvo y las soluciones del concurso planteaban mejoras en el modelo escolar de aquellos años.

Así pues, después de no utilizar las soluciones del concurso por los motivos explicados; el plan de construcciones de 1979 y 1980 construyó “proyectos tipo” de menor calidad que estaban basados en las normativas constructivas del año 1975.

Por lo tanto no se promueve la flexibilidad de espacios y por lo tanto son propuestas basadas en conceptos de apilamiento. Además tal y como solicita en aquellos años el CSCAE (Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España) al gobierno se cree que para una mejor construcción de los edificios la administración no debe ejecutar la dirección de obra y debe recaer en arquitectos de la zona. Por lo que se solicita que se elaboren “proyectos complementarios” para una mejor adaptabilidad a cada zona.

En el caso gallego, el número de centros escolares construidos es en torno a 60 y prácticamente se cumplen los objetivos iniciales, tal y como se puede ver en la siguiente tabla y en la figura 29.

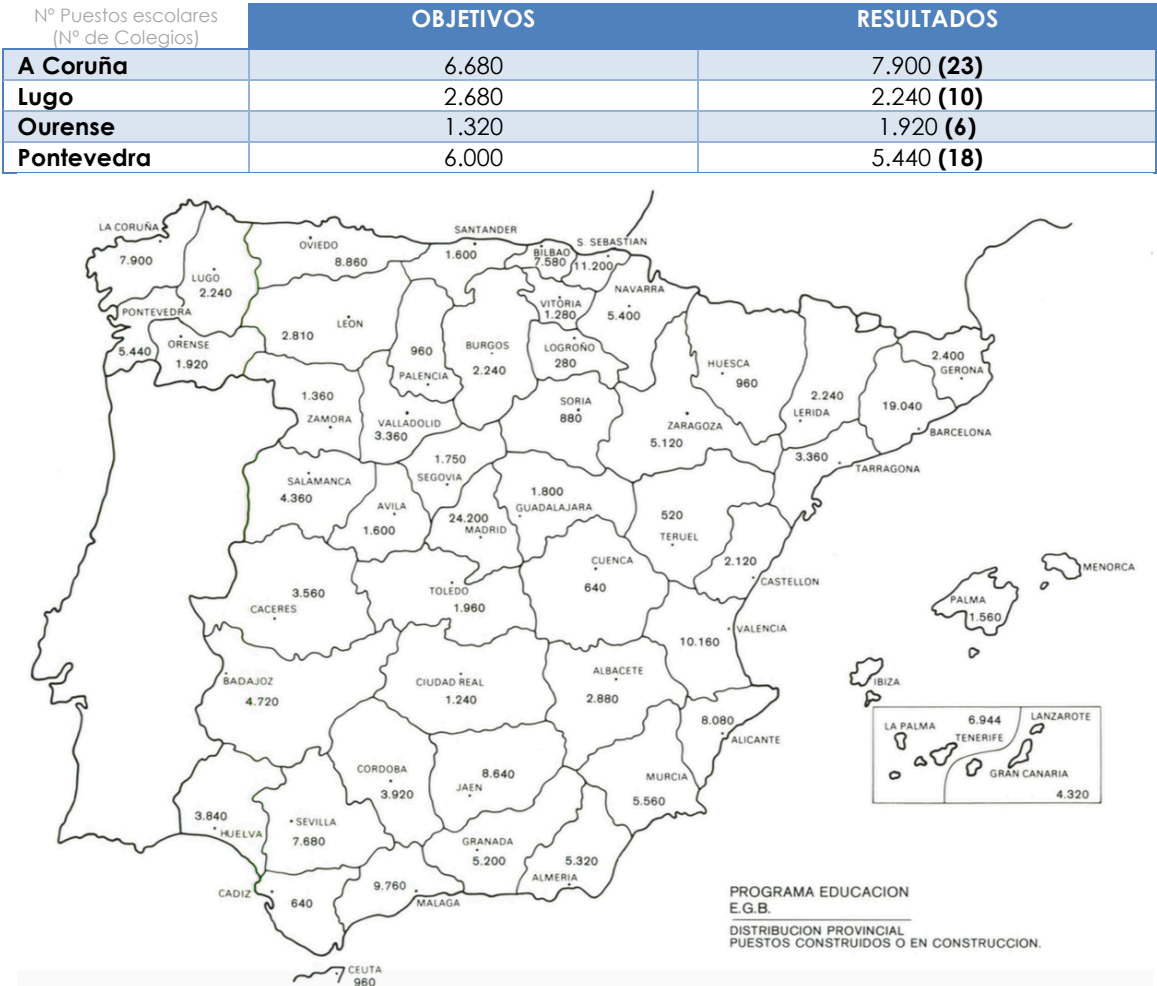
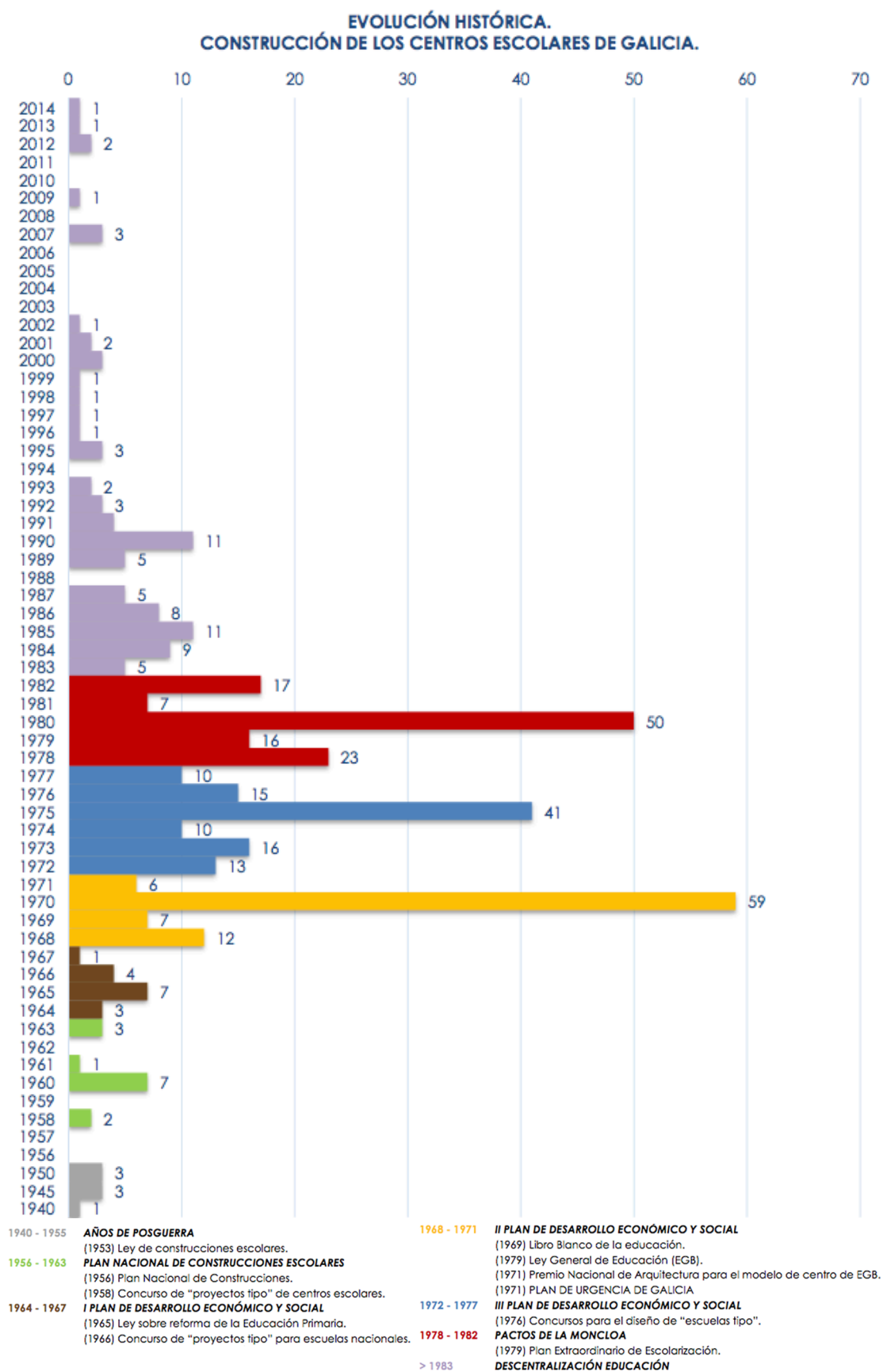


Figura 29_ Número de centros construidos en toda España con los Pactos de la Moncloa
Fuente: Planificación Educativa: Programa de Construcciones Escolares 1979. Ministerio de Educación.
Colección Planificación Educativa y Construcciones Escolares. Nº2.

Las escuelas creadas por toda España con este plan continuaron con la línea del "III Plan de Desarrollo" basado en un sistema tradicional de enseñanza frontal y homogénea dentro de las aulas. El principal motivo de este sistema fue que primara la cantidad antes que la calidad arquitectónica, se quería conseguir definitivamente tener espacios de enseñanza en buenas condiciones para todos los alumnos. Con los "Pactos de la Moncloa" todos los colegios públicos, existentes y de nueva creación alcanzaron una calidad media con un ratio medio por aula de 35 alumnos.

Un resultado de esta "nueva política" es que desaparecen los llamados "proyectos tipo" tan utilizados durante el tercer cuarto del siglo y las autonomías a partir de mediados de los 80 plantean la construcción de los centros de manera individual y buscando que la arquitectura responda al clima y lugar. Así pues, se puede decir que partir de mediados de la década de los 80 se inicia otro período en la educación española con objetivos puramente centrados en mejorar la calidad de la enseñanza. El gran objetivo de dotar de equipamientos suficientes y de calidad a los alumnos desde los años posteriores a la guerra civil se había concluido con los Pactos de la Moncloa.



Gráfica 01_Evolución histórica de la construcción de escuelas en Galicia

Fuente: elaboración propia

Contexto histórico de los centros escolares en Galicia

Se puede decir que la arquitectura escolar gallega ha tenido una evolución en ciertos momentos del siglo XX diferentes al resto de España. A lo largo de los años, la construcción de escuelas de educación primaria en Galicia se ve influenciada por tres aspectos significativos.

En primer lugar, se produce un retraso en el comienzo de los procesos constructivos de colegios, tal y como se observa en la "gráfica 01" donde se refleja que la mayoría de los centros escolares existentes se construyen a partir de finales de los 60.

En segundo lugar, el marcado carácter rural de la población y su dispersión en el territorio condiciona los diferentes planes de construcción y el modelo educativo que se estaba impartiendo. Hasta 1967 en Galicia⁶¹, existen dos velocidades en la implantación de la educación circunstancia que estaba claramente relacionada con el tipo de edificio escolar. Mientras los núcleos de población importante contaban con escuelas graduadas, los núcleos rurales (menos de 500 habitantes) disponían de escuelas unitarias. Esta situación provoca una diferencia de nivel entre el rural y la ciudad.

Galicia es una región que debido a sus asentamientos tan dispersos, el modelo de centro escolar más repetido hasta el "II Plan de Desarrollo" (1967-1971) fue el de la "escuela unitaria" que permitía dar una educación de "mínimos" a los alumnos de los pequeños núcleos rurales. El motivo fundamental de este modo de educación es que no era posible la agrupación en escuelas de mayor nivel por los tiempos de desplazamiento y el estado de las infraestructuras. Así pues, la construcción de dichas escuelas siempre estaba acompañada de la correspondiente "casa del maestro".

La tercera característica significativa que se encuentra en Galicia, es que a partir de la década de los 70' se toma como modelo de construcción de centros escolares el "proyecto tipo" que permitió cubrir rápidamente el déficit existente de centros. De esta manera, la misma escuela se encuentra repetida en diferentes municipios, lo que provoca que una solución tenga que dar respuesta a diferentes climas y por lo tanto su comportamiento térmico sea distinto.

Estas tres características provocan que el ritmo de construcciones en Galicia sea diferente al resto de España en las primeras décadas del régimen franquista y que se aceleró durante los últimos años y la transición a la democracia. Desde los años 70' se muestra claramente un proceso de compensación con el fin de equiparar tanto el número de escuelas como su calidad. Esta situación también sucede en otras regiones de España y trae consigo que se creen soluciones por parte del gobierno central como los llamados "Planes de Urgencia".

Anteriormente se explicó que en el ámbito estatal existieron cinco grandes planes de construcción de escuelas entre 1956 y 1980, que permitieron progresivamente crear las escuelas necesarias. En cambio, la situación en Galicia fue diferente, porque no se produjo un proceso continuo tal y como se puede ver en la "gráfica 01". El número de centros escolares que se construyeron en cada periodo, muestra que los procesos de construcción tardaron más tiempo en ser eficaces en Galicia y esto produjo un retraso en la implantación del edificio escolar:

- Periodo de posguerra	(1939-1955)::	2%
- Plan Nacional de Construcciones Escolares	(1956-1963):	3%
- I Plan de Desarrollo Económico y Social	(1964-1967):	4%
- II Plan de Desarrollo Económico y Social	(1968-1971):	20%
- III Plan de Desarrollo Económico y Social	(1972-1976):	25%
- Plan Extraordinario de Escolarización	(1979-1980):	27%
- Descentralización de la educación	(>1985):	19%

⁶¹ En 1967 se inicia el "II Plan de Desarrollo Económico y Social", lo que permite la construcción de un gran número de escuelas graduadas en Galicia.

De las corrientes de los años 20' no existen ejemplos de edificios escolares de educación primaria en Galicia. Las tendencias arquitectónicas del momento no se introdujeron tan fácilmente como en otras zonas de España donde había una mayor influencia como era el caso del País Vasco, Cataluña y Madrid. En estas tres regiones, las corrientes sobre la arquitectura escolar higienista y racionalista fueron recogidas por arquitectos miembros del GATEPAC⁶², como José Manuel Aizpurúa en San Sebastián o Josep Lluís Sert en Barcelona.

A principios de los 30' apareció en Galicia un grupo de jóvenes arquitectos que habían terminado sus estudios recientemente en las dos únicas escuelas de arquitectura que existían en esos momentos: Madrid y Barcelona. Según diferentes especialistas⁶³ destacan los nombres de José María Banet y Díaz Varela en Santiago, Alex Reinlein en Ourense, Francisco Castro Represas en Vigo, Emilio Quiroga en Pontevedra, Santiago Rey Pedreira en A Coruña y Eloy Maquieira en Lugo. Estos arquitectos fueron los introductores de las nuevas influencias en Galicia, pero su obra se centró en la arquitectura residencial y en equipamientos públicos. Sobre arquitectura escolar no hay ejemplos a excepción de la "escuela de trabajo" creada en el año 1935 en Lugo por el arquitecto Eloy Maquieira y que responde a las influencias de los estilos del GATEPAC (figura 30).

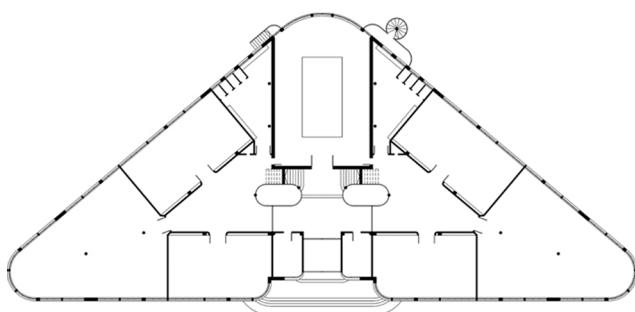


Figura 30_ Escuela de trabajo de Eloy Maquieira (1935)
Fuente: Base documental DCOMOMO

Los años posteriores a la guerra civil, la arquitectura escolar sigue la tendencia del resto de España por lo que existen muy pocas construcciones y las obras de arquitectura se centran en otra tipologías. La baja producción de escuelas se debe a la situación de crisis económica y a la postura del gobierno de no incentivar la construcción de escuelas públicas. Por lo tanto, la mayoría de centros escolares de aquella época son de carácter religioso con una arquitectura encorsetada y ligada a estilos regionalistas.

El "Plan Nacional de Construcciones Escolares" (1956-1963) coincide en el tiempo con la mayor experimentación sobre arquitectura escolar que se estaba produciendo en Europa; destacando ejemplos innovadores como las escuelas de Scharum (1951) y Arne Jacobsen (1951-58). Esta situación contrasta con el caso de Galicia, donde los esfuerzos se estaban concentrando en la construcción de escuelas rurales mediante las soluciones escogidas en el "I Concurso de la Escuelas Rurales Tipo" (1956).

Con respecto a las escuelas rurales, aparece la figura relevante del arquitecto Desiderio Pernas (1930-1996) que en el año 1963 es nombrado en la ciudad de Vigo arquitecto escolar. Se trata de un joven arquitecto que maneja el lenguaje internacional del momento lo que influirá en la concepción formal de las escuelas. Su trabajo para la administración se centra principalmente en desarrollar las direcciones de obra de los "proyectos tipo" de escuelas unitarias encargados por el Ministerio de Educación. Este trabajo le permitirá adquirir una gran formación en arquitectura escolar que se plasmará posteriormente en proyectos como el "Colegio de Educación Especial Saladino Cortizo" (1968, Vigo) o el "Proyecto Tipo de Centro de EGB" para el "Plan de Urgencia de Galicia" (1971) en las provincias de Pontevedra y Ourense.

⁶² GATEPAC: Grupo de Artistas y Técnicos Españoles para el Progreso de la Arquitectura Contemporánea. En el año 1930 se fundó el grupo formado por jóvenes arquitectos españoles abiertos a las nuevas corrientes arquitectónicas.

⁶³ AGRASAR, F. "Eloy Maquieira" en *Do Racionalismo á Modernidade*. 2002. Nova Galicia Edicións: Vigo, p.112-129.

Hoy en día en Galicia tan sólo un 3% de las escuelas que se conservan corresponden con el "Plan Nacional de Construcciones Escolares". El motivo es que la construcción de esos años se centró en la "escuela rural", la cual fue quedándose sin uso en las siguientes décadas debido a la agrupación escolar y estos edificios tendieron a desaparecer.

El "I Plan de Desarrollo Económico y Social" (1964-1967), destaca por ser una época que produce un cambio con respecto a los años anteriores debido a que a nivel estatal se llegó a construir hasta un total de 22.788⁶⁴ aulas en España. Pero para Galicia sigue la misma tendencia que en el anterior plan y el número de escuelas construidas tan solo corresponde al 4% del total.

El Plan de Urgencia de Galicia. Una oportunidad única.

Con el "II Plan de Desarrollo" (1968-1971) empieza el despegue de la arquitectura escolar gallega, porque hasta el momento en la región solo se habían abordado las construcciones escolares mediante "escuelas unitarias" en los pueblos y escuelas de corte religioso en las ciudades. Esta situación cambia sobre todo en las ciudades, donde se empieza a construir "proyectos tipo" para cubrir las necesidades de escolarización que existían; las cuáles, habían sido ampliadas por la política de agrupamiento escolar de aquellos años.

Durante los primeros años se ejecutan en Galicia escuelas que tienen en cuenta conceptos experimentados durante el "I Concurso de Escuelas Nacionales" del año 1966. Así pues, destacan soluciones basadas en conceptos de adaptabilidad y construcción industrializada que permitieron crear edificios escolares que planteaban soluciones de agrupación de aulas. Un ejemplo de este periodo y que no responde a un "proyecto-tipo" se trata del "Colegio de Educación Especial Saladino Cortizo", ubicado en Cabral, Vigo del año 1968 y que lo diseñó el ya mencionado Desiderio Pernas.

Se trata de un centro escolar construido en planta baja y con un esquema de funcionamiento basado en una trama de aulas asociados a patios individuales. Se trata de un ejemplo de gran calidad arquitectónica y donde se muestran claras influencias de la "escuela Munkegards" (Dinamarca, 1951-1958) de Arné Jacobsen. La solución que se plantea en este caso muestra un interés porque el edificio pueda proporcionar los espacios necesarios a la nueva pedagogía que se quiere introducir. Además destacan aspectos como la búsqueda de la luz natural, la radiación solar mediante la orientación de las aulas a sur y la riqueza espacial que los patios aportan al conjunto escolar (figura 31).



Figura 31_Colegio de educación especial "Saladino Cortizo" de Desiderio Pernas (1968)

Fuente: Base documental DCOMOMO

El segundo plan de construcciones, aunque supuso un importante avance en el número de colegios construidos (20% del total), no fue suficiente para equiparar a Galicia con el resto de España. Así pues, se detecta que el elevado déficit escolar está lastrando la educación gallega y por lo tanto desde el ministerio se crea el "Plan de Urgencia de Galicia" del año 1971 que pretende construir 73 nuevos centros escolares⁶⁵.

⁶⁴ LAZARO, E. *Historia de las construcciones escolares en España*. Ministerio de Educación. 1975, nº240, p.120.

⁶⁵ Orden de 20 de septiembre, sobre el concurso para la construcción de 73 Colegios Nacionales de Educación General Básica en Galicia, BOE núm. 229 § 15536 (1971).

Este nuevo plan que está englobado dentro del “III Plan de Desarrollo”, supone para Galicia un importante aumento en el número de colegios y especialmente una mejora en la calidad de los centros. Se planteó construir edificios escolares modélicos que estuvieran dotados de los servicios para impartir una “educación personalizada”, la cual buscaba ser el nuevo modelo educativo estatal. Para plantear este nuevo modo de enseñanza las aulas debían de ser más flexibles para permitir la agrupación de los alumnos de distintas edades.

Según especialistas como José Miguel Visedo Godínez⁶⁶, el III Plan de Desarrollo es la época de oro de las construcciones escolares en España por la introducción de la nueva ley educativa y el modelo de escuela que traía asociado. Debido a la crisis del petróleo (1973) este periodo no fue tan largo y pasará por ser una época efímera donde sólo en las regiones donde se ejecutaron “Planes de Urgencia” se introdujo el nuevo modelo de escuela. En conclusión, por primera vez en la historia, Galicia se beneficiara de los avances en arquitectura escolar y esa estructura tan rural que lastró a la región durante tantas décadas se empezará a modificar.

Para el desarrollo del “Plan de Urgencia” se convoca un concurso que dividía el territorio de Galicia en cinco lotes y donde los “proyectos tipo” que se diseñaran podían dar respuesta a una o varias zonas. Cualquiera propuesta debía de cumplir con las normativas sobre centros escolares del año 1971 y tenían que ser soluciones que se construyeran con la máxima celeridad porque debían de estar en funcionamiento el 30 de septiembre de 1972. A continuación, se adjuntan los tres “proyectos tipo” seleccionados para el “Plan de Urgencia de Galicia”:

- **Prototipo 01** (zona Pontevedra y Ourense. Lote número I, II, III).
Arquitectos: Desiderio Pernas, Antonio Viloria y José Carlos Velasco.
- **Prototipo 02** (zona Lugo. Lote número IV).
Arquitectos: F. Riestra Limeses, J. Castañón Fariña y J. M^a. Laguna Martínez.
- **Prototipo 03** (zona A Coruña. Lote número V).
Arquitectos: Ramón Vázquez Molezún, G. Salvador Molezún y R. Olalquiaga Soriano.

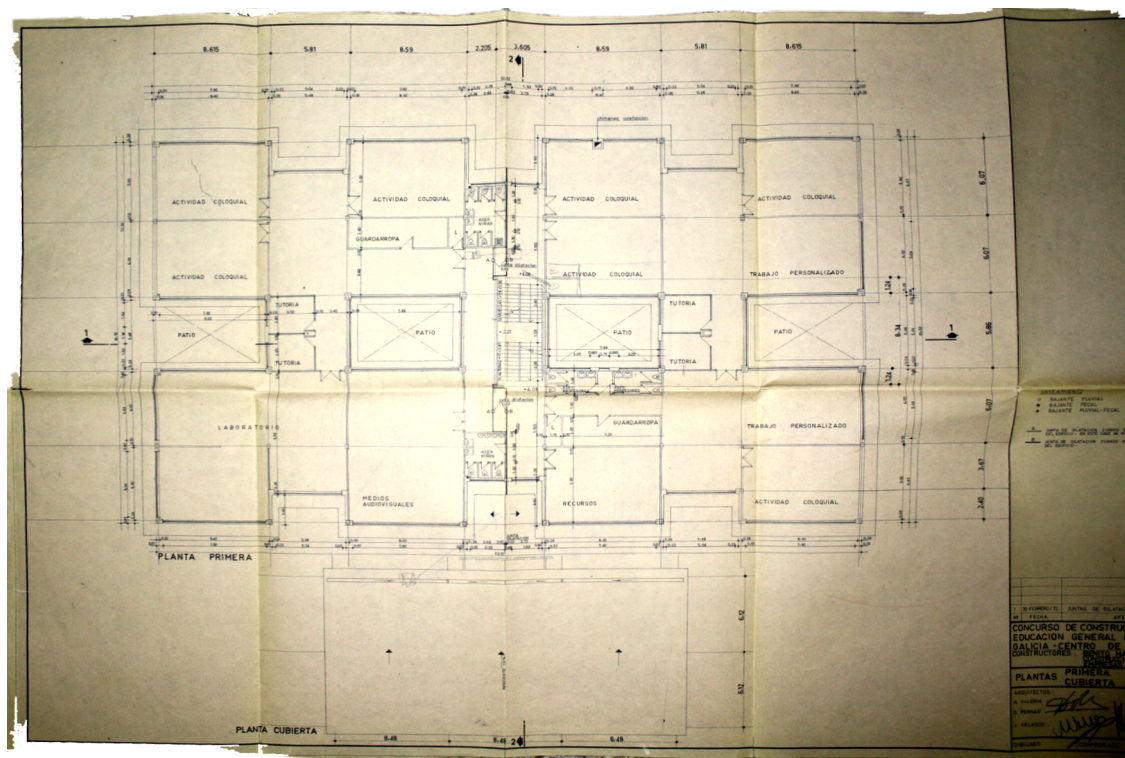
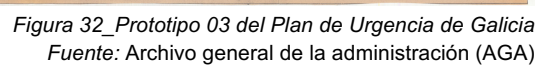
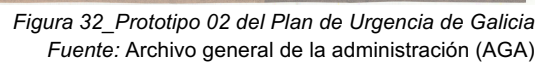


Figura 32_Prototipo 01 del Plan de Urgencia de Galicia

Fuente: Archivo general de la administración (AGA) y unidades técnicas provinciales de Galicia

⁶⁶ VISEDO, J.M. (1986). “La construcción escolar primaria en los centros públicos españoles de 1857-1985. Evolución histórica y análisis comparativo”. Dir. Ángel González Hernández. Universidad de Murcia, Murcia.



Entre las necesidades escolares de aquel concurso, destaca el caso de la provincia de Pontevedra en la que se plantean dos lotes mientras que en el resto de provincias sólo se propone uno. Esta circunstancia se debe a que las necesidades en esta región eran mayores debido a los movimientos migratorios internos de la población gallega hacia las ciudades industriales de Vigo y Pontevedra (tabla 07). El planeamiento de necesidades era el siguiente:

- Lote número 1: Pontevedra (provincia). **13 colegios.**
- Lote número 2: Pontevedra (provincia) y Pontevedra (capital). **17 colegios.**
- Lote número 3: Ourense (provincia) y Ourense (capital). **16 colegios.**
- Lote número 4: Lugo (provincia) y Lugo (capital). **14 colegios.**
- Lote número 5: A Coruña (provincia) y A Coruña (capital). **13 colegios.**

DEMOGRAFÍA PROVINCIAS GALLEGAS ENTRE 1960 Y 1980 ⁶⁷			
	1960	1970	1980
A CORUÑA	1.035.619	1.030.745	1.093.121
LUGO	491.955	423.064	405.365
OURENSE	488.241	441.260	430.159
PONTEVEDRA	715.181	781.334	883.267

Tabla 07_Evolución demográfica principales ciudades gallegas (1960-70-80)

Fuente: elaboración propia

Finalmente después de analizar las propuestas entregadas en el concurso se seleccionan tan sólo los tres "proyectos tipo" anteriormente adjuntados. Las tres soluciones tenían en cuenta el concepto que quería introducir la nueva "Ley General de Educación", de crear aulas flexibles que pudieran relacionarse entre sí. Así pues, las propuestas buscan crear espacios diversos de acuerdo con los diferentes tipos de agrupaciones que se pueden dar en el colegio según las necesidades. Para ello todas las soluciones se encamina a dividir y sumar espacios mediante el empleo de sistemas de puertas correderas que permitan facilitar el trabajo en grupo.

Tal y como indicaba la memoria descriptiva de los proyectos, se plantearon soluciones con un esquema abierto, es decir, las propuestas debían ser adaptables a los futuros cambios que la enseñanza podía sufrir. Según mención explícita de los arquitectos:

"[...]es fundamental crear una base neutra, pero con el potencial suficiente para que sea generadora de espacios adecuados a la multiplicidad y variedad que el espíritu humano puede apetecer ya desde el estadio más temprano de su desarrollo [...]"⁶⁸

Aunque los "proyectos tipos" son soluciones distintas, las tres propuestas presentan una organización funcional muy similar ya que se estructuran en torno a un "gran corredor central" en el cual se producen la comunicación vertical y horizontal de todo el centro. A su vez, los tres proyectos plantean dos patios centrales que permiten que las aulas de trabajo en grupo se organicen en torno a ellos y tengan buenas condiciones de iluminación y ventilación (figura 33). En el prototipo 1 y 2 los patios presentan unas dimensiones similares al módulo de un "aula tipo", lo que demuestra el cuidado que existía por asegurar unas condiciones de confort en el interior.

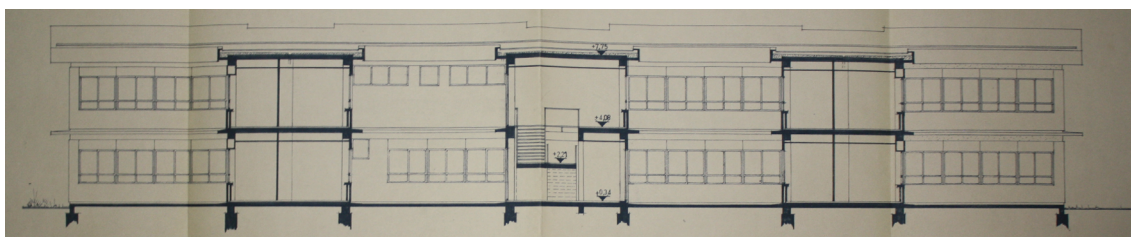


Figura 33_Sección "proyecto tipo 01" Plan de Urgencia Galicia

Fuente: Archivo general de la administración (AGA) y unidades técnicas provinciales de Galicia

⁶⁷ AA.VV., (2007). "Cuadernos Fundación BBVA. La población de A Coruña, Lugo, Pontevedra y Ourense". Ed.: Fundación BBVA.

⁶⁸ Memoria descriptiva del proyecto tipo de los lotes número 1, 2 y 3.

Los proyectos tipo seleccionados presentan una solución estándar formada por una escuela de 16 unidades desarrollada en PB+1; ya que se considera la solución ideal para la mayoría de núcleos de población. Las tres soluciones fueron diseñadas de manera "modular" a partir de las dimensiones del aula tipo lo que permitió plantear una solución menor de 8 y una mayor de 24 unidades. En los tres casos la solución crecía en altura, pero siempre se mantenía la planta tipo; en la propuesta de 8 unidades sólo se ocupaba la mitad de la planta primera, en la de 16 unidades toda la planta primera y en la de 24 unidades se construía planta 1ª y 2ª.

Constructivamente se muestra un elevado interés en la definición de los cerramientos, algo que destaca ya que en aquella época aún no existía unas limitaciones sobre la envolvente térmica, la cuáles aparecería años después con la NBE-CT-79. Así pues, se justifica los valores de transmitancia térmica de los muros mediante las normas de calor del "Instituto Eduardo Torroja". La calidad de las propuestas también destaca por la preocupación de que las propuestas se puedan adaptar lo mejor posible a los diferentes climas y porque las soluciones sean lo más duraderas posibles ante la previsible falta de mantenimiento; por lo que se opta en las tres soluciones por cubiertas inclinadas que aseguran un buen funcionamiento en Galicia

Existe también una preocupación por la orientación y en el caso del "prototipo 01" (lote 1, 2 y 3) se indica que el edificio escolar debe tener una orientación "noreste-suroeste", colocando el "bloque de dirección" al norte y la "zona de juegos" de los niños al mediodía, tal y como se indica en la figura 34. Se busca que con esta solución que exista el mayor número de aulas orientadas a "sureste" y aprovechar los beneficios del soleamiento para un calentamiento pasivo durante el invierno. Para los meses más cálidos se diseñan los voladizos de manera que eviten un sobrecalentamiento excesivo.

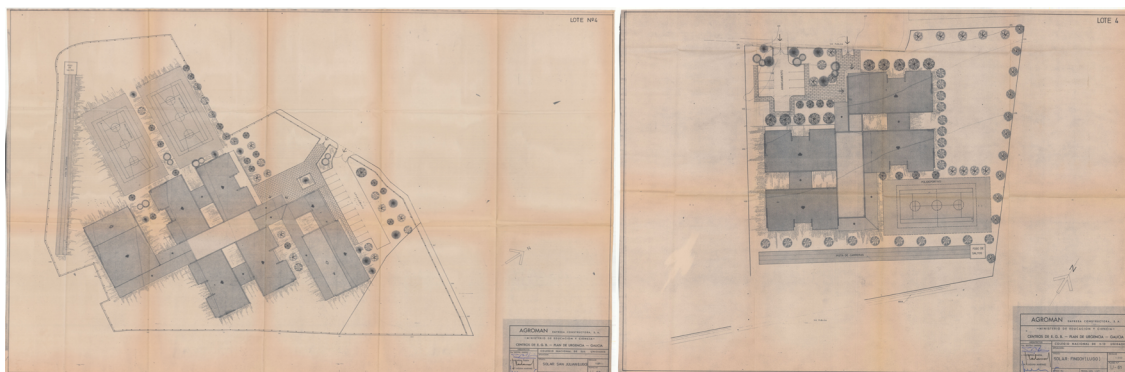


Figura 34_Diferentes propuestas de plantas de situación "proyecto tipo 02" Plan de Urgencia Galicia
Fuente: Archivo general de la administración (AGA) y unidades técnicas provinciales de Galicia

Por último, estéticamente se busca en las tres soluciones un tratamiento muy uniforme, pero que permita mostrar el carácter singular de estas edificaciones ya que se quiere reflejar el carácter renovador que la ley de educación quería introducir en la sociedad (figura 35).

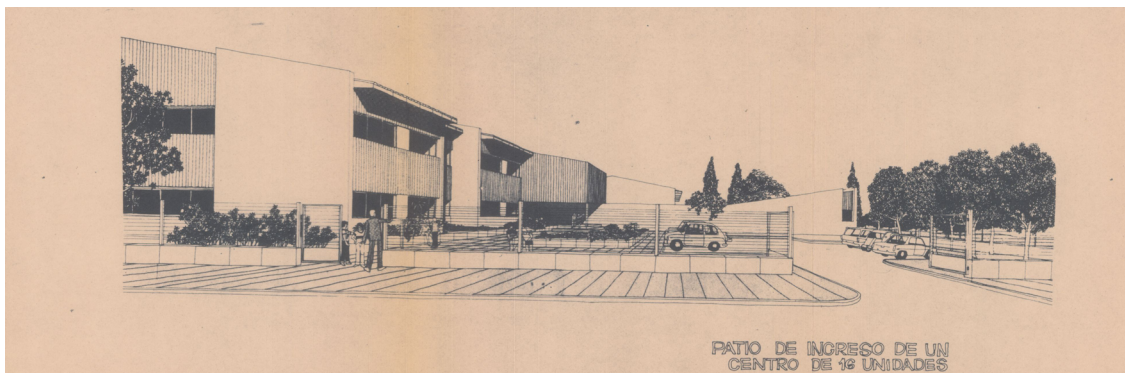


Figura 35_Imagen exterior "proyecto tipo 02" Plan de Urgencia Galicia
Fuente: Archivo general de la administración (AGA) y unidades técnicas provinciales de Galicia

El “III Plan de Desarrollo” (1972-1976) no termina con el “Plan de Urgencia de Galicia”, pero sí que marca un antes y un después, ya que con la crisis del petróleo se producen grandes recortes económicos que se reflejan en el modelo escolar que se seguirá construyendo. Tanto en Galicia como en el resto de España se inicia un retorno al modelo de escuela anterior a la LGE (Ley General de Educación) que era mucho más económico ya que no creaba tantos espacios pensados para el trabajo en grupo. Se analiza que supone el mismo coste construir dos centros con las normativas escolares de 1971 que construir tres centros con las anteriores normas; debido a que con la primera existe demasiado espacio construido y para un número tan bajo de alumnos escolarizados.

Así pues, a partir de 1973 en Galicia se mantiene el ritmo de construcciones de escuelas pero al igual que en todo España se cambia el programa de necesidades y se reduce la ambición en los centros. Las escuelas construidas recuperan las ideas del “I Concurso de Proyectos Tipo” del año 1966 sobre escuelas nacionales. En aquel momento se implementaban soluciones de aulas más flexibles y que permitieran estar conectadas entre sí pero a diferencia de los edificios del “Plan de Urgencia” ya no se crean nuevos espacios de trabajo en grupo.

Un claro ejemplo en Galicia es la solución (figura 36) planteada en el concurso de 1966 para el clima atlántico de los arquitectos F. Higuera y A. Miró que será tomada de nuevo como modelo en algunas escuelas construidas en Pontevedra (1974). En este caso el edificio escolar plantea una organización en bloques longitudinales paralelos, conectados a través del núcleo de comunicación lo que permite que las aulas tengan doble orientación y ventilación cruzada (figura 37). Otro caso es el “CEIP Casas” (Lugo) donde varias aulas se conectan entre sí para favorecer el trabajo en grupo entre alumnos de distintas edades.

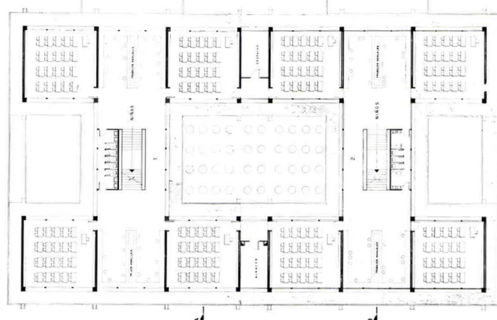


Figura 36_Planta Concurso 1966 “Proyecto Tipo”

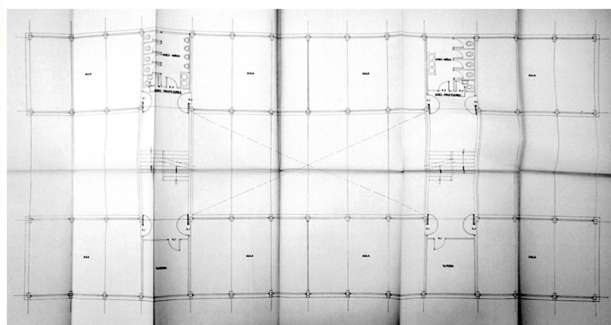


Figura 37_Planta CEIP O Sello (Vigo)

Fuente: Archivo general de la administración (AGA) y unidades técnicas provinciales de Galicia

En definitiva el “III Plan de Desarrollo” se caracterizó por la cantidad de centros construidos en Galicia (1/4 de escuelas son de este periodo). Pero también destacó por introducir un nuevo concepto de colegio basado en una “educación personalizada” del alumno.

Recuperación del modelo de escuela graduada. Años 80'

La entrada en democracia supone un nuevo cambio en el modelo de edificio escolar que también tendrá su reflejo en las escuelas que se construirán en Galicia. Con los planes anteriores se ha llegado al 100% de la escolarización en la enseñanza primaria; pero lo que se detecta es que la calidad de los centros de enseñanza no es toda igual. Muchos edificios presentan unas malas condiciones para la enseñanza y ratios de alumnado muy elevados.

Para mejorar la calidad de los centros, entre los años 1977 y 1982 en Galicia se promueve un ambicioso proceso de construcción de escuelas que supone el 27% de los centros existentes hoy en día. Este nuevo periodo va a significar definitivamente la vuelta al modelo clásico de enseñanza entendiendo la construcción de escuelas como un gran contenedor donde la célula más importante es el aula. Se prima construir un número importante de aulas antes que crear los espacios de trabajo en grupo que pretendía la LGE. Así pues, estamos ante una época de cantidad antes que de calidad con respecto al edificio escolar.

Los edificios construidos pierden la flexibilidad entre las aulas y se tiende a un apilamiento en altura. Se recupera el sistema tradicional de enseñanza donde todas las actividades son desarrolladas dentro del mismo espacio y la configuración formal que mejor responde y que más se repite en Galicia es el bloque lineal. Este modelo de edificio escolar que se implanta en estos años será el tipo de edificio escolar que llegará hasta finales del siglo XX.

Para ejecutar el nuevo edificio entran en vigor las nuevas normas sobre edificios escolares del 22 de mayo de 1978 sobre las necesidades mínimas. Aunque se perdió calidad en la arquitectura escolar con estas normas, se promovió en 1979 un concurso de "proyectos-tipo" para estudiar soluciones que mejoraran el concepto de edificio escolar. En el caso gallego las bases establecieron dos zonas climáticas tal y como se indica en la figura 38:

- Zona "X-A": ciudades de Lugo y Ourense.
- Zona "W-A": ciudades A Coruña y Pontevedra.

De un total de 142 propuestas presentadas al concurso se escogieron como diseños modélicos para Galicia tres soluciones, dos para la primera zona y otra para la segunda. Destaca la importancia que tuvo este concurso a nivel autonómico ya que por primera vez se recoge en una publicación gallega las soluciones planteadas sobre arquitectura escolar. En los números 4 y 5 de la publicación "Obradoiro" se explican cuatro soluciones arquitectónicas sobre escuelas de educación primaria para la región de Galicia, esto refleja el interés arquitectónico que suscitaba este equipamiento en aquellos años (figura 39).

ZONAS DE CONCURSO

ZONA X-A.—Ourense, Lugo, Oviedo, Bilbao, Vitoria.

ZONA X-C.—Logroño, Gerona, Segovia, Guadalajara, Madrid, Toledo, Badajoz, Granada.

ZONA Y-C.—Pamplona, Huesca, Lérida, León, Burgos, Palencia, Zamora, Valladolid, Zaragoza, Avila, Ciudad Real.

ZONA Z-D.—Soria, Salamanca, Teruel, Cuenca, Albacete.

ZONA W-A.—San Sebastián, Santander, La Coruña, Pontevedra.

Zona W-B.—Islas Baleares, Archipiélago Canario, Ceuta, Melilla, Barcelona, Tarragona, Castellón, Valencia, Alicante, Murcia, Almería, Málaga, Cádiz, Huelva.

ZONA W-C.—Sevilla, Córdoba, Jaén, Cáceres.

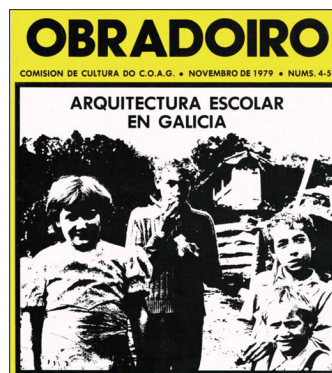
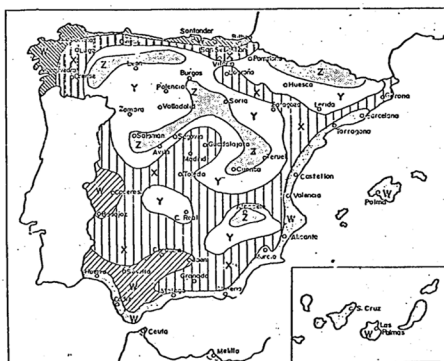


Figura 38_ Planta Concurso 1966 "Proyecto Tipo" Figura 39_ Portada Revista. Fuente: revista Obradoiro nº 4-5

En primer lugar, la propuesta de los arquitectos Julio Murias Fernández y Elías Solana Berriochoa para la zona climática W-A, intenta reflejar las tendencias escolares que aquellos años se estaban experimentando en el norte de Europa. Su propuesta pretende que las aulas independientes puedan configurar un gran espacio único mediante el apilamiento de tabiques. Buscan la máxima relación de los alumnos creando una planta que se adapte a diferentes compartimentaciones y así cubrir las distintas necesidades que una escuela pueda tener (fig 40).

Además, entienden la escuela como un "todo único" de manera que configuran el hall en el centro del edificio para que todas las circulaciones discurran a través de este espacio. A través de este gran espacio, también se busca que exista una relación con el exterior mediante un espacio acristalado que permita el soleamiento del corazón del edificio.

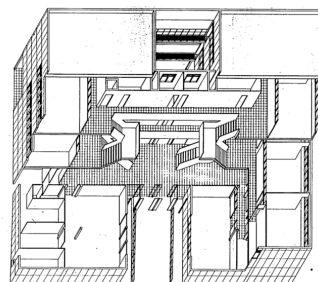
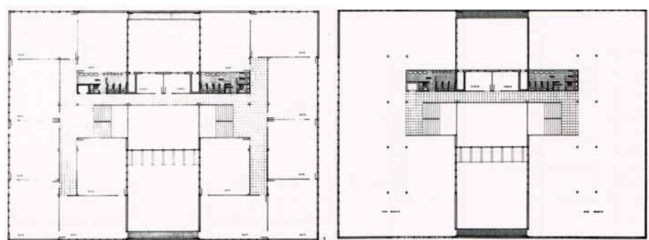


Figura 40_ Propuesta para zona climática W-A. Arquitectos Julio Murias Fernández y Elías Solana Berriochoa

Fuente: Revista Obradoiro nº 4-5

En segundo lugar, las dos soluciones seleccionadas para la zona climática X-A, son propuestas organizadas mediante bloque lineal.

En el caso de la propuesta de los arquitectos Álvaro Aritio Armada y Pedro Herrero Pinto optan por una propuesta lo más flexible y funcional posible. Para ellos se pretende obtener un edificio contenedor con los mínimos elementos fijos lo que permita que se pueda adaptar a futuros cambios y conseguir que la agrupación de las aulas genere el mayor espacio posible. Es una solución similar al anterior caso sólo que en este caso se configura en bloque. Además plantean crear la zona de juegos de los niños en un lugar predominante del edificio y que quede protegido de las inclemencias del clima.

Por lo tanto, diseñan un espacio bajo cubierta en el centro del edificio cuya forma responde a la arquitectura vernácula de las localidades donde se va a localizar el prototipo y así alcanzar una mayor relación con el medio construido (figura 41).

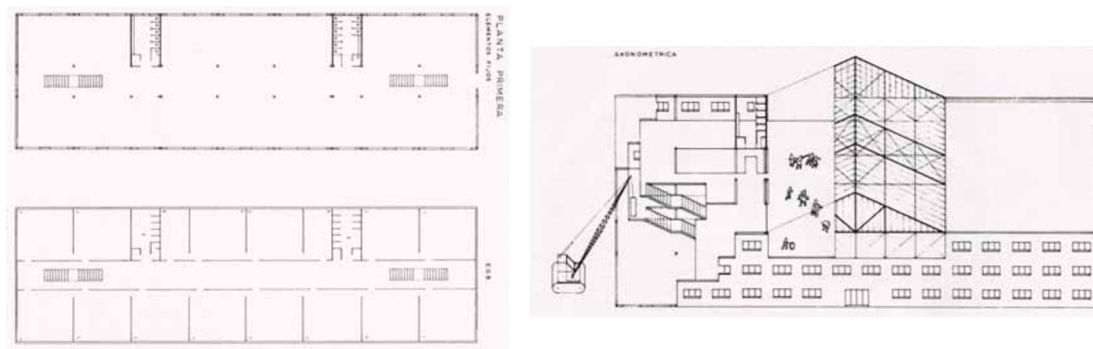


Figura 41_ Propuesta para zona climática X-A. Arquitectos Álvaro Aritio Armada y Pedro Herreno Pinto

Fuente: Revista Obradoiro nº 4-5

La otra propuesta para esta zona climática es de los arquitectos Fernando Nanclares, M^a Nieves Ruíz, Javier Ortega y Francisco Rodríguez. Plantean también una solución longitudinal pero con la diferencia de que dividen el programa en tres bloques, uno de mayor longitud con los usos docentes y otros dos más cortos dispuestos de manera perpendicular al primero con la clara intención de crear un espacio público de relación.

Se trabaja la solución en planta baja para crear espacios porticados que permitan protegerse de las inclemencias del tiempo. La estructura organizativa se basa en una solución de apilamiento de aulas, pero a diferencia de las otras dos soluciones no busca la flexibilidad de aulas y se crean espacio más rígidos y de menor calidad arquitectónica (figura 42).

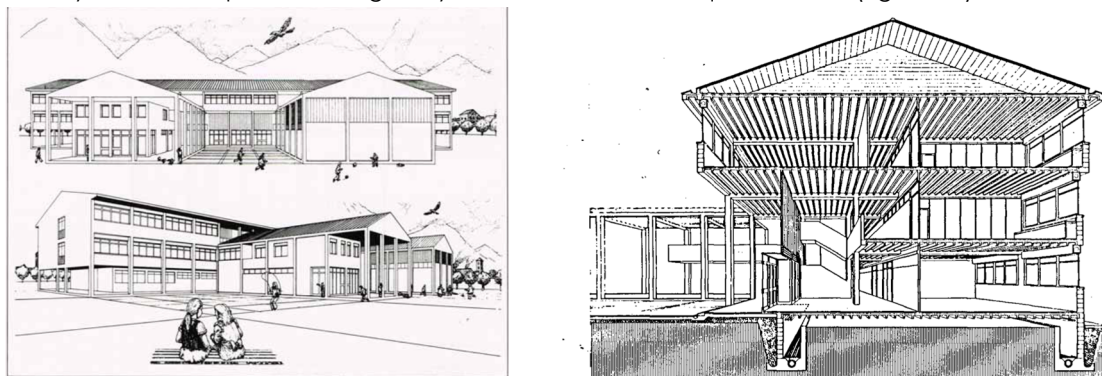


Figura 42_ Propuesta para zona climática X-A. Arquitectos Fernando Nanclares, M^a Nieves Ruíz, Javier

Ortega y Francisco Rodríguez

Fuente: Revista Obradoiro nº 4-5

Por último, la revista "Obradoiro" recoge el ejemplo presentado por el arquitecto Xosé Manuel Casabella, se trata del único arquitecto gallego que presentó a dicho concurso una propuesta la cuál destaca por tres objetivos:

- Una construcción industrializada para estandarizar el proceso y reducir costes.
- Una propuesta que presenta la mayor adaptabilidad a futuros cambios educativos debido a una solución de espacios flexibles.
- Una solución que se adapte a las condiciones económicas y sociales de Galicia, por lo que la propuesta serviría para todas las zonas climáticas de la región.

La escuela planteada da un primer paso en el proceso de la construcción industrializada en Galicia seleccionando las soluciones más conocidas y así evitando sistemas de difícil adaptación al medio y elevado coste. Sobre todo establece soluciones prefabricadas en fachada y estructura considerando como módulo tipo las dimensiones del aula. También con la construcción estandarizada pretende mediante la subdivisión crear seminarios o despachos y a través de la agrupación de aulas crear los laboratorios o talleres (figura 43).

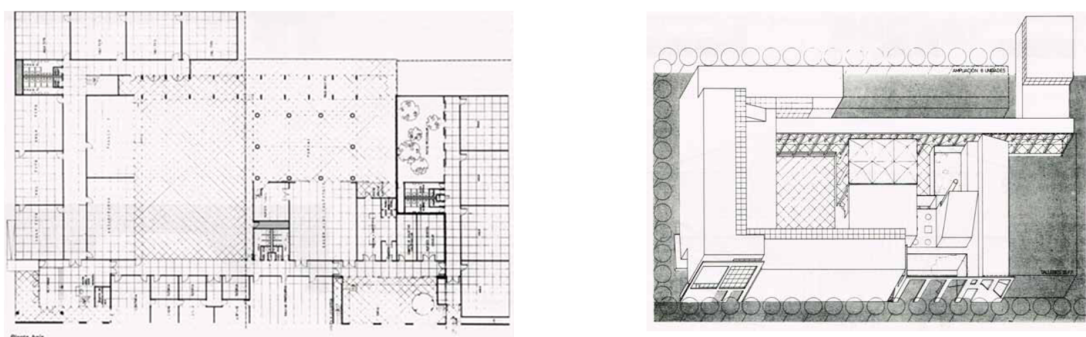


Figura 43_ Propuesta para zona climática X-A. Arquitectos Xosé Manuel Casabella
Fuente: Revista Obradoiro nº 4-5

Lamentablemente todas estas soluciones recogidas en este concurso no fueron llevadas a cabo y aunque resultaron ser diseños de un encomiable valor arquitectónico los siguientes años se construyeron edificios con muy poca innovación arquitectónica. La edificación escolar de los años 80' muestra la rigidez del método de enseñanza basado en un aula independiente y sin relación con el resto. La mayoría de escuelas de estos años responde básicamente a dos premisas: soluciones constructivas industrializadas para una rápida ejecución y una organización en bloque longitudinal con doble orientación para optimizar el espacio construido.

Así pues, este tipo de arquitectura escolar introducida con los "Pactos de la Moncloa" y continuada durante la década de los 80' marca el modelo de edificio escolar que ha llegado hasta los días actuales. Tal y como se detecta en la tabla 04, a partir de finales de los 90' se inicia un ritmo decreciente de construcción de escuelas marcado principalmente porque las necesidades escolares estaban cubiertas con los colegios existentes. Básicamente durante los últimos veinte años en Galicia la mayoría de las intervenciones que se realizan son de conservación y mantenimiento de las escuelas más antiguas. Finalmente, con la entrada en el siglo XXI la actividad constructiva escolar prácticamente desaparece y esto provoca que no exista experimentación ni innovación en los equipamientos escolares.

En conclusión, ante el panorama demográfico actual que vive Galicia que ha provocado que las siete principales urbes gallegas⁶⁹ hayan perdido población y que tan sólo las villas de población media⁷⁰ localizadas en torno a Vigo y A Coruña crecieran discretamente; se considera, que la línea de los próximos años en arquitectura escolar será reacondicionar las escuelas existentes. Por lo tanto, la única vía de trabajo para la administración gallega deberá ser la mejora del confort y la eficiencia a través de la "rehabilitación energética" de sus escuelas.

⁶⁹ Por orden descendente son: Vigo, A Coruña, Ourense, Lugo, Santiago de Compostela, Pontevedra, Ferrol.

⁷⁰ Las villas de población media en Galicia, son aquellas cuya población ronda los 20.000 habitantes.

Tesis Doctoral

La rehabilitación energética en la arquitectura escolar Hacia el edificio rehabilitado nZEB

AUTOR

José Manuel Castro Vázquez

DIRECTOR

María Jesús Dios Viéitez

TUTOR

María Jesús Dios Viéitez



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

PROGRAMA OFICIAL DE DOCTORADO EN ARQUITECTURA Y REHABILITACION

2017

PARTE 2. LOS CASOS DE ESTUDIO

Capítulo IV. Análisis de los centros escolares

A lo largo de este capítulo se procederá a la explicación de la selección de los centros escolares que reúnan una serie de características que los convierta en edificios de referencia. El objetivo es determinar un grupo de “casos de estudio” o “casos base” sobre los que se deben estudiar las diferentes soluciones de rehabilitación energética y los efectos que producen. Se pretende que la muestra de edificios seleccionada sea lo más amplia posible para cubrir el mayor espectro posible y poder extrapolar las conclusiones a la mayoría de centros de Galicia.

El objeto de estudio es la arquitectura escolar debido a que sobre ella no se han realizado estudios tan pormenorizados como en el sector residencial o de oficinas. Se trata de construcciones de gran relevancia por la labor educativa que se imparte en ellas y donde debido a su antigüedad no existen normalmente unas correctas condiciones de confort, las cuáles deben de ser corregidas.

De todas las construcciones escolares existentes, en primer lugar se ha realizado una selección del tipo de centro más representativo. Así pues, a través del buscador de centros de la Xunta de Galicia¹ se han podido clasificar los centros existentes de la comunidad:

-	CEE:	Centro de Educación Especial	14 centros.
-	CEIP:	Colegio de Educación Infantil y Primaria	572 centros.
-	CEP:	Colegio de Educación Primaria	24 centros.
-	CPR:	Centro Privado	282 centros.
-	CRA:	Colegio Rural Agrupado	27 centros.
-	EEl:	Escuela de Educación Infantil	128 centros.
-	IES:	Instituto de Educación Secundaria	252 centros.

De la anterior clasificación, se detecta que los centros escolares con un mayor número son los CEIP (Colegios de Educación Infantil y Primaria) en los que se concentran alumnos de

¹ XUNTA DE GALICIA. Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria. (2014). *Buscador de centros. Guía de centros educativos*. Recuperado de <https://www.edu.xunta.es/centroseducativos/>

edades de entre los 3 y 12 años inclusive. Se considera el grupo más interesante para ser estudiado en esta tesis doctoral ya que se trata de una muestra muy representativa al existir este edificio en la mayoría de municipios de Galicia.

A la hora de realizar una rehabilitación en un edificio, y más concretamente si se trata de una rehabilitación energética nos encontramos con una serie de preexistencias que no pueden ser modificadas como son tipología edificatoria y la implantación del edificio en un lugar determinado. Pero por otro lado, existen otros condicionantes en un edificio que se vaya a rehabilitar como la envolvente térmica y las instalaciones sobre las cuáles existe una mayor posibilidad de intervención para plantear conceptos de eficiencia energética.

Los criterios de selección de los "casos base" han sido estructurados en tres categorías que han permitido delimitar el ámbito de estudio tal y como se muestra a continuación:

- **Criterio de clima:** se seleccionan los principales núcleos de población en Galicia en base a las diferentes zonas climáticas del código técnico de la edificación (CTE).
- **Criterio de periodo constructivo:** de los colegios seleccionados se realiza una segunda selección en base a la normativa constructiva con la que se construyeron:
 - . Anterior a la NBE-CT-79. (< 1979)
 - . Durante la NBE-CT-79. (1979-2006)
 - . Código Técnico de la Edificación (CTE). (>2006)
- **Criterio de tipología:** por último, se realiza una tercera selección en base a la tipología edificatoria. Se analizaron las concepciones formales características de la arquitectura escolar y se obtuvieron cuatro tipos: bloque, patio, atrio y mixta.

Con este proceso de selección se han obtenido los casos más representativos de la arquitectura escolar en la comunidad autónoma de Galicia. Sobre estos centros se aplicarán las diferentes hipótesis de rehabilitación para poder obtener conclusiones con fundamento en diferentes criterios como: ahorro energético, confort, recuperación de la inversión e impacto ambiental. Los resultados obtenidos serán estudiados para determinar qué medidas se pueden extrapolar al resto del conjunto de la arquitectura escolar gallega.

Se seleccionan un total de 21 centros escolares (figura 01) que estarán agrupados en un total de "11 casos de estudio". Con la agrupación se pretende obtener conclusiones sobre en qué zona climática o tipología edificatoria las inversiones económicas se recuperan antes o en cuáles se alcanzan mayores beneficios energéticos. Este análisis comparativo es posible porque se han detectado tal y como se han indicado en la parte primera de la tesis edificios, edificios construidos con el mismo proyecto en ciudades diferentes de Galicia.

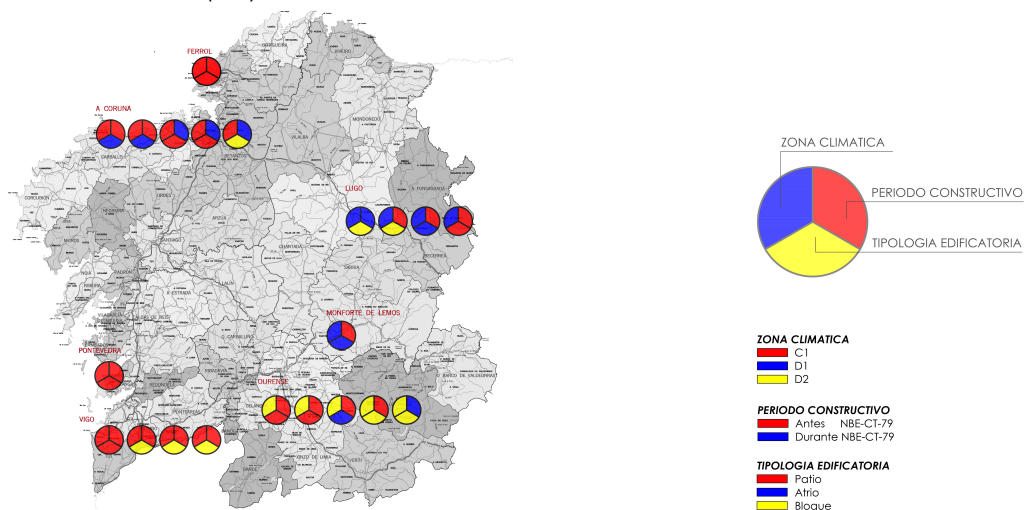


Figura 01_ Localización de los "casos base" seleccionados
Fuente: elaboración propia

Criterio de selección: climático

El primer nivel de selección de los “casos base” se realiza a través de las diferentes zonas climatológicas que define el CTE para la comunidad autónoma de Galicia. Según la clasificación del “DB-HE Ahorro de energía_ Apéndice D”, se establecen dentro del panorama nacional 13 zonas climáticas. En el caso concreto de Galicia tan sólo existen 6 zonas climáticas que engloban los principales núcleos de población: C3, C2, C1, D2, D1 y E1 (figura 02 y tabla 01).

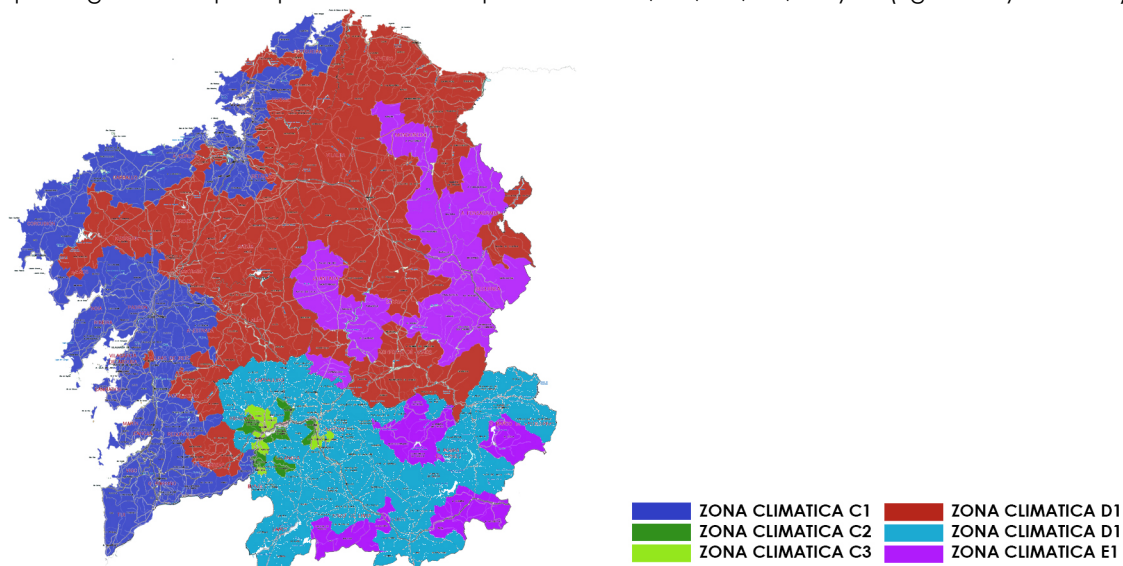


Figura 02_Zonas climáticas de Galicia

Nº de Colegios	ZONA CLIMATICA					
	C3	C2	C1	D2	D1	E1
Nº de Colegios	3	6	319	69	149	26
> 70.000 habitantes	*		Vigo A Coruña Pontevedra Ferrol	Ourense	Lugo Santiago de Compostela	**
30.000-50.000			Narón Vilagarcía de Arousa Oleiros Carballo Arteixo			
20.000-30.000			Redondela Ames Ribeira Cangas Marín Cambre Ponteareas A Estrada		Culleredo	
20.000-10.000		Barbadás	Moaña Porriño Teo Nigrán Sansenxo Tui Poio Gondomar Tomíño Cambados Bue Baiona O Grove Vilanova de Arousa A Guarda	O Barco de Valdeorras Verín Xinzo de Limia	Lalín Monforte de Lemos Vlveiro Mos Vilalba Sarria Ordes Pontes de García Rodríguez Ribadeo	

* Centros escolares de Arnoia, Cenlle y Leiro. Núcleos de población de menos de 1700 personas.

** En la zona climatológica E1, existen núcleos de población que no superan los 4.500 habitantes.

Tabla 01_Distribución de los principales municipios gallegos por zonas climáticas

Fuente: elaboración propia

En primer lugar, se realiza un estudio del número de centros escolares existentes en cada una de las seis zonas climáticas de Galicia. De esta manera, se puede determinar qué zonas presentan un mayor porcentaje de centros escolares y establecer el primer criterio de selección. Se parte de un total de 572 centros de educación infantil y primaria (CEIP) repartidos de la siguiente manera:

ZONA C3.

La zona climática C3 se ubica dentro de la provincia de Ourense y corresponde con los núcleos de población con una altitud menor a 150m. En esta zona sólo se concentra un **0,5%** del total de los centros escolares lo que significa que es la zona climática con menor número de colegios.

ZONA C2.

La zona climática C2 se encuentra dentro de la provincia de Ourense y son núcleos que están en una altitud entre 150 m y 300 m. Destaca como núcleo relevante el núcleo de población de Barbadás con una población superior a 10.000 personas. El porcentaje de centros escolares que se encuentran en esta zona climática es del **1%** (6 centros escolares).

ZONA C1.

La zona climática C1 se localiza en las provincias de A Coruña a una altitud menor de 200 m y en Pontevedra a menos de 350 m. Se trata de la zona climática que alberga los núcleos de mayor población de Galicia entre los que destacan las ciudades de Vigo, A Coruña, Pontevedra y Ferrol.

También se encuentra en esta zona los municipios limítrofes de las áreas metropolitanas de las principales urbes gallegas como son: Fene, Oleiros, Arteixo y Carballo. Según estudios recientes los municipios próximos a las ciudades de Vigo y A Coruña con una población media en torno a los 20.000 habitantes son los únicos que han experimentado un crecimiento de población positivo en los últimos años. Se trata de un dato de suma importancia, porque en estos núcleos medios las necesidades escolares en vez de reducirse se mantienen e incluso aumentan.

En conclusión la zona C1, se trata de la zona climática con mayor porcentaje de centros escolares de toda la comunidad, tiene un total de **56%** (319 centros escolares).

ZONA D2.

La zona climática D2 se ubica dentro de la provincia de Ourense y se trata de núcleos que están en una altitud entre 300 m y 800 m. Destaca como núcleos de población importantes la ciudad de Ourense y los núcleos de O Barco de Valdeorras y O Carballiño. En esta zona se encuentra un porcentaje de centros escolares del **12%** lo que supone que sea la tercera zona climática con mayor número de centros (69 centros escolares).

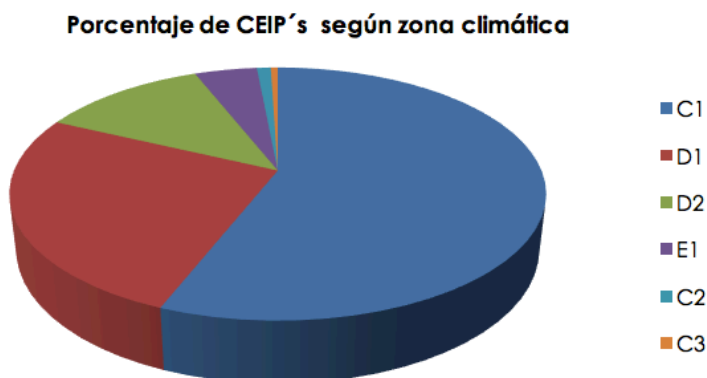
ZONA D1.

La zona climática D1 se encuentra en las provincias de A Coruña a una altitud mayor de 200m, de Lugo a una altitud menor de 500m y de Pontevedra a una altitud mayor de 350m. Existen importantes núcleos de población como las ciudades de Lugo o Santiago de Compostela y los núcleos de población media como Culleredo, Lalín o Monforte de Lemos. Esta zona climática es la segunda con mayor número de centros escolares, el 26% respecto del total (149 centros escolares).

ZONA E1.

La zona climática E1 se localiza en la provincia de Lugo a una altitud mayor de 500m y en la provincia de Ourense a más de 350m. La mayoría de los núcleos de esta zona tienen una población menor a 5.000 personas, aunque el porcentaje de centros escolares que se encuentra es del **4,5%** (26 centros escolares).

De este análisis se concluye que las zonas con un mayor número de centros escolares son la C1, D1 y D2 respectivamente (gráfica 01). En ellas se localizan los principales núcleos de población de Galicia formados por las 7 principales urbes y los municipios de población media tal y como se puede ver en la tabla 01. Estas tres zonas suponen el 94% del total de centros escolares y por lo tanto las soluciones de rehabilitación energética que se planteen en estos casos pueden ser extrapolables a la mayor parte de edificaciones escolares de Galicia.



Gráfica 01_Distribución de los colegios (CEIP's) por zonas climáticas
Fuente: elaboración propia

La zona climática E1 se localiza en las provincias de Lugo y Ourense; se trata de los municipios con la mayor severidad climática de invierno de todo Galicia. El motivo principal de tener unas condiciones climáticas tan adversas es que son zonas de montaña como: A Fonsagrada, O Incio y Triacastela entre otros. La mayoría de núcleos tienen una población que no supera los 4.500 habitantes y donde normalmente existen tasas de escolarización bajas. De seguir la tendencia actual la mayoría de estos centros tendrán a concentrarse y agruparse.

Las zonas climáticas con menor presencia de centros escolares son las zonas climáticas C3 y C2 localizadas en la provincia de Ourense. Tan sólo existen 9 centros escolares, por lo que se toma la decisión de no tenerlos en cuenta para la selección de los casos base debido a que son una muestra muy poco significativa.

Así pues. Después del primer nivel de selección basado en el criterio de "zona climática" se obtiene una muestra de 168 centros (tabla 02); la cuál está basada en dos criterios:

- Se prescinde de las zonas climáticas C3 y C2 por su escasa repercusión en edificios escolares. En caso de acometer una rehabilitación energética se podrán implementar las soluciones de la zona climática C1 al tener la misma severidad climática de invierno (zona C).
- De las zonas climáticas C1, D1, D2 y E1; se escogen los núcleos de población con mayor población de cada zona para contar con los centros más significativos.

Nº de Colegios	ZONA CLIMATICA			
	C1	D2	D1	E1
	114	18	33	3
Núcleos de población	Vigo (39) A Coruña (27) Pontevedra (14) Ferrol (10) Redondela (8) Cangas (6) Ribeira (6) Arteixo (4)	Ourense (15) O Barco de Valdeorras (3)	Lugo (14) Santiago de Compostela (12) Lalín (5) Monforte de Lemos (2)	A Pastoriza (2) Fonsagrada (1)

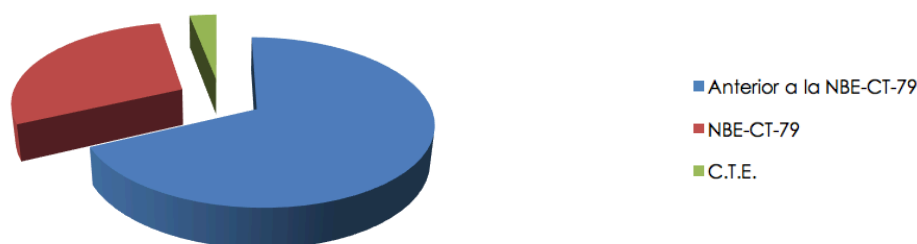
Tabla 02_ Selección de la muestra según el criterio de "zona climática"
Fuente: elaboración propia

Criterio de selección: normativo

El segundo nivel de selección de los “casos base” se realiza de acuerdo a la normativa constructiva con la que fueron edificados los centros docentes. Tal y como se ha comentado anteriormente existen tres periodos diferentes en España: colegios construidos antes de 1979, entre los años 1979-2006 y a partir de 2006. Para obtener información sobre el año de construcción se consulta la base de datos de la sede electrónica del catastro².

Se parte de la muestra de 168 centros escolares agrupados en las zonas C1, D1, D2 y E1 para determinar la normativa constructiva con la que fueron diseñados. A través de los datos obtenidos se alcanzan los siguientes porcentajes generales:

- De la época anterior a la NBE-CT-79 hay 114 colegios de 167. Un **68 %** de colegios.
- De la época de la NBE-CT-79 hay 49 colegios de 167. Un **29 %** de colegios.
- De la época posterior al C.T.E. hay 5 colegios de 167. Un **3 %** de colegios.



Gráfica 02_Distribución de los colegios según la normativa constructiva.

Fuente: elaboración propia

Se obtiene que los centros escolares en Galicia tienen una antigüedad muy elevada; la mayoría de los edificios son anteriores a la primera normativa que tenía en cuenta conceptos de eficiencia energética (NBE-CT-79). El porcentaje de la muestra seleccionada corresponde a que el 68% de las escuelas son anteriores al año 1979 y el 29% del periodo entre 1979-2006.

Con respecto al último periodo constructivo (CTE), sólo corresponde el 3% de los colegios. Estos centros han sido construidos en municipios próximos a las principales ciudades gallegas, ya que estas áreas periféricas acogen población debido a los nuevos crecimientos residenciales que permiten vivir fuera de la ciudad aunque sus habitantes trabajen en la ciudad.

Se realiza también el estudio por núcleos de población (figuras 03 a 10) para determinar cómo es la relación de sus centros escolares con respecto a las normativas constructivas. En general se mantiene la tendencia pero existen algunas diferencias. Las ciudades con una mayor antigüedad de centros son Vigo, donde el 85% de los colegios (33 de 39) fueron construidos antes de la NBE-CT-79 y Pontevedra con un 86% de los colegios (12 de 14).

Las ciudades de A Coruña, Santiago y Lugo se encuentran en la media de Galicia, con porcentajes de 67% (18 de 27), 67% (8 de 12) y 64% (9 de 14) respectivamente, tal y como se puede ver en la figura 05 y 06. Este dato es preocupante en los casos de Santiago y Lugo porque la severidad climática de invierno es muy superior a las ciudades de la costa. Por lo tanto, estas edificaciones fueron construidas antes de que existiera una regulación en temas energéticos lo que genera elevados consumos económicos y falta de confort. Algo similar sucede con Ourense con una porcentaje de centros anterior a la NBE-CT-79 que corresponde con el 53% (8 de 15) ya que es una ciudad con fuertes condiciones climáticas exteriores.

La única urbe gallega que invierte la tendencia es la ciudad de Ferrol, donde es mayor el número de centros construidos en el periodo entre 1979 y 2006 con un porcentaje del 60% (6 de 10) tal y como se puede ver en la figura 09. Con respecto a los núcleos de población media (figura 10), la situación presenta dos conclusiones interesantes:

² GOBIERNO DE ESPAÑA. Ministerio de Hacienda y Función Pública. (2014). *Sede Electrónica del Catastro*. Recuperado de <https://www.catastro.meh.es/esp/sede.asp>

- En primer lugar, se mantiene la tendencia del resto de Galicia siendo mayoritarias las construcciones anteriores a la primera normativa, un 60% (22 de 37) en contraposición a las que fueron construidas con ella que suponen un 32% (12 de 37).
- En segundo lugar, se detecta que en los núcleos de población media hay un mayor porcentaje de colegios construidos a partir del CTE.

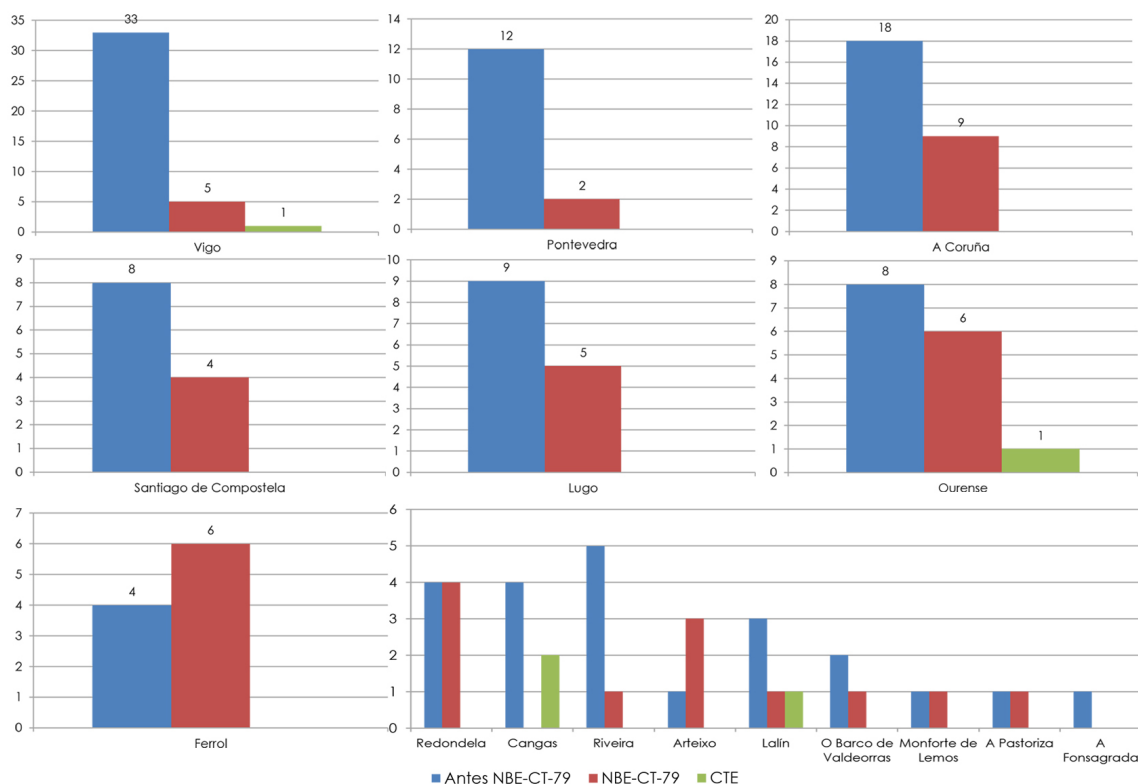


Figura 03 a 10_ Número de CEIP's en las principales ciudades y núcleos medios de Galicia.
Fuente: elaboración propia

En conclusión con el segundo análisis en base al criterio de "normativa constructiva", se alcanza una muestra de 163 centros (tabla 03) y se obtiene la conclusión de que en Galicia apenas existen edificios escolares construidos a partir del CTE. Por lo tanto, se toma la decisión de prescindir de estas edificaciones ya que hay muy pocos ejemplos y además se trata de construcciones ejecutadas con normativas más estrictas en aspectos de eficiencia energética por lo que tienen menor necesidad de ser rehabilitados. Así pues, se adjunta la tabla 03 que recoge los municipios seleccionados con el número de centros de cada periodo constructivo:

Normativa	ZONA CLIMATICA			
	C1	D2	D1	E1
	111	17	32	3
Anterior a la NBE-CT-79	Vigo (33) A Coruña (18) Pontevedra (12) Ferrol (4) Redondela (4) Cangas (4) Ribeira (5) Arteixo (1)	Ourense (8) O Barco de Valdeorras (2)	Lugo (9) Santiago de Compostela (8) Lalín (3) Monforte de Lemos (1)	A Pastoriza (1) Fonsagrada (1)
Durante la NBE-CT-79	Vigo (5) A Coruña (9) Pontevedra (2) Ferrol (6) Redondela (4) Ribeira (1) Arteixo (3)	Ourense (6) O Barco de Valdeorras (1)	Lugo (5) Santiago de Compostela (4) Lalín (1) Monforte de Lemos (1)	A Pastoriza (1)

Tabla 03_ Selección de la muestra según el criterio de "zona climática" y "normativa constructiva"
Fuente: elaboración propia

Criterio de selección: tipológico

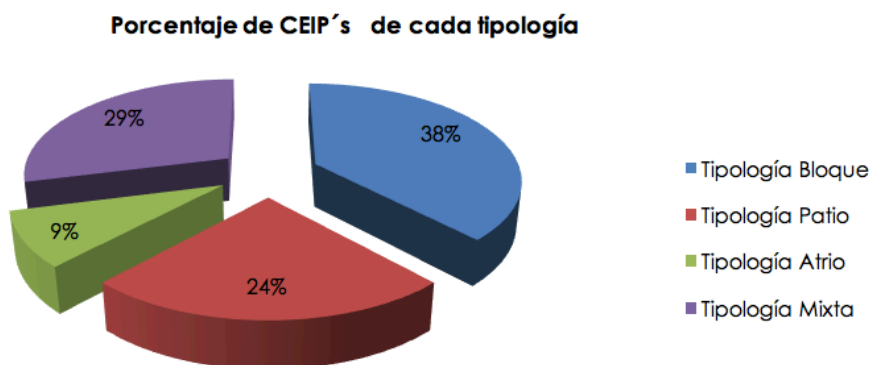
El último nivel de selección para obtener “los casos de estudio” de la investigación se realiza en base a su tipología edificatoria para poder determinar cuáles son las formas edificatorias que más se repiten en la arquitectura escolar gallega.

Después de haber realizado un análisis con fundamento en las zonas climáticas y en las normativas constructivas existentes, se parte de una muestra de 163 centros escolares que son estudiados según su tipología. Así pues, se han analizado sus características formales y funcionales para determinar si existen algunas tendencias y poder determinar “casos base” sobre los cuáles se plantearan las estrategias de rehabilitación.

Para poder estudiar todos los edificios de la muestra, se emplea el “Sistema Gráfico Dixital de Identificación de Parcelas Agrícolas”³ de la Xunta de Galicia para poder determinar la morfología de cada edificio. Se ha descubierto que existen centros idénticos en diferentes zonas de la geografía de Galicia que corresponde con los diferentes proyectos ejecutados en Galicia durante los años 70 y 80; como anteriormente se ha explicado.

La repetición del mismo edificio se considera un hecho de gran relevancia para la investigación porque permite estudiar los beneficios de la rehabilitación sobre un mismo caso, pero en dos ubicaciones distintas. Se trata de una oportunidad para entender qué factores influyen más a la hora de plantear soluciones viables de rehabilitación energética y obtener conclusiones sobre si el clima o la tipología pueden reducir o ampliar los periodos de recuperación de la inversión.

Además, de estos proyectos tipo ejecutados básicamente con el “Plan de Urgencia de Galicia” de 1971 y los “Pactos de la Moncloa” de los años 1979-80, existen muchas otras edificaciones escolares que no han sido ejecutadas mediante un “proyecto tipo”. Por lo tanto con este análisis se pretende determinar correctamente su tipología y escoger las soluciones más interesantes de cada tipología. Así pues, el análisis de la muestra de 163 centros escolares da como resultado 4 tipologías distintas (gráfica 03) que a continuación se explicará.



Gráfica 03_Porcentajes de tipología edificatoria escolar en Galicia.
Fuente: elaboración propia

En la arquitectura escolar gallega (CEIP's) existe básicamente cuatro tipos de edificio escolar distintos (figura 11). Los tres tipologías más destacadas son: “bloque”, “patio” y “atrio” y se caracterizan por presentar unas características formales muy reconocibles. El caso de la “tipología mixta” está formado por edificaciones que presentan una mezcla de rasgos de las otras tres tipologías.

³ XUNTA DE GALICIA. (2014). Sistema Gráfico Dixital de Identificación de Parcelas Agrícolas. Recuperado de <https://www.sixpac.xunta.es/>

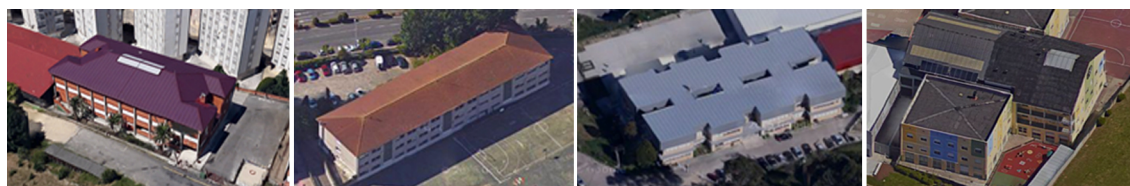
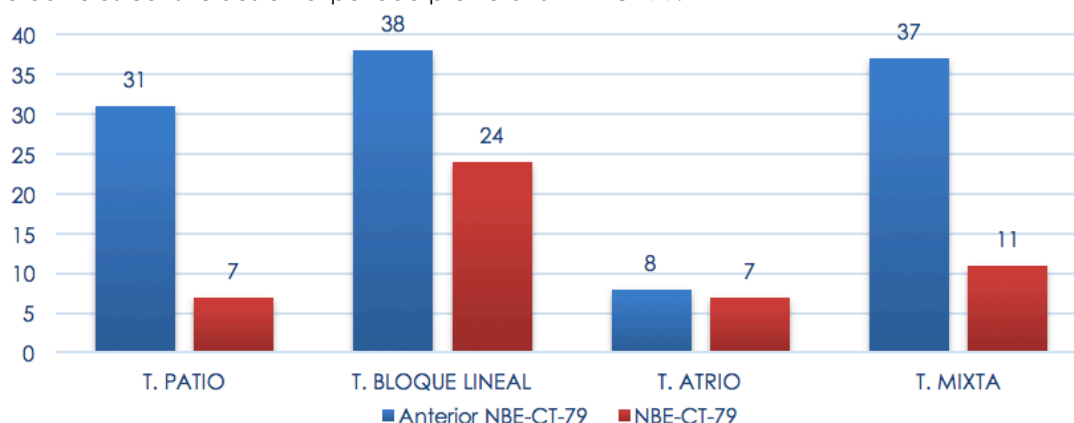


Figura 11_ Tipología de centros escolares en Galicia: atrio, bloque longitudinal, patio y mixta.

Fuente: Google Maps

Al estudiar las cuatro tipologías teniendo en cuenta los dos periodos constructivos de mayor relevancia (gráfica 04); se ha detectado que en los cuatro casos hay una mayor muestra de edificios construidos en el periodo previo a la NBE-CT-79.



Gráfica 04_ Relación de las diferentes tipologías edificatorias con el periodo constructivo.

Fuente: elaboración propia

La tipología más utilizada en ambos periodos es la de "bloque lineal", se trata de una solución que permite concentrar un gran número de aulas reduciendo los espacios de circulación. Tal y como se explicó en el anterior capítulo; el "Plan de Urgencia de Galicia" fue el periodo de mayor calidad arquitectónica, porque se plantearon diseños del edificio escolar más ambiciosos y flexibles. El resto de periodos se caracterizó por el apilamiento de aulas en altura lo que convertía al bloque lineal en la solución ideal.

La tipología de "patio" fue muy utilizada durante el primer periodo, porque a través del "Plan de Urgencia de Galicia" se crearon tres "proyectos tipo" basados en soluciones con patios que permitieron construir un total de 73 colegios. En general, la arquitectura escolar de patios ha sido muy utilizada en Galicia ya que supone $\frac{1}{4}$ de los edificios.

En cuanto a la tipología de "atrio", durante el proceso de análisis de los centros escolares se detecta que existen una serie de edificios con esta característica. Aunque no supone una muestra muy grande (9% del total) sí que hay ejemplos en muchas localidades de Galicia. Es la única tipología en la que existe un equilibrio entre los dos periodos constructivos. El motivo de que suceda esto es que dicho edificio fue construido con los "Pactos de la Moncloa" que coincidieron en los años previos y posteriores a la entrada en vigor de la NBE-CT-79.

La tipología "mixta" es la segunda con mayor repercusión en los dos periodos. Se trata de propuestas que mezclaban conceptos de otras tipologías y que no presentan un estilo reconocible. Uno de los motivos de un número tan elevado de centros es que muchas veces estas propuestas se localizan en parcelas irregulares y consolidadas en la trama urbana, donde no es factible introducir un planteamiento tan teórico como los otros tres tipos.

A continuación se procede a analizar cada una de estas tipologías explicando las diferencias encontradas entre ellas:

Tipología “PATIO” (38 centros)

Se trata de centros escolares que tienen una organización funcional de sus espacios en base a uno o más patios. Se diferencian dos tipos de soluciones dentro de esta tipología: centros con “patio abierto” o “patio cerrado” (figura 12 y 13). En ambos casos las aulas suelen estar organizadas en torno al patio lo que provoca que las aulas tengan orientaciones muy diversas.



Figura 12 Y 13_ Tipología patio. Ejemplos de solución “abierto” y “cerrado”
 Fuente: Google Maps

Se trata de actuaciones que utilizan el elemento patio como una herramienta para obtener una mayor superficie de fachada y conseguir una estructura de las aulas mejor ventilada e iluminada.

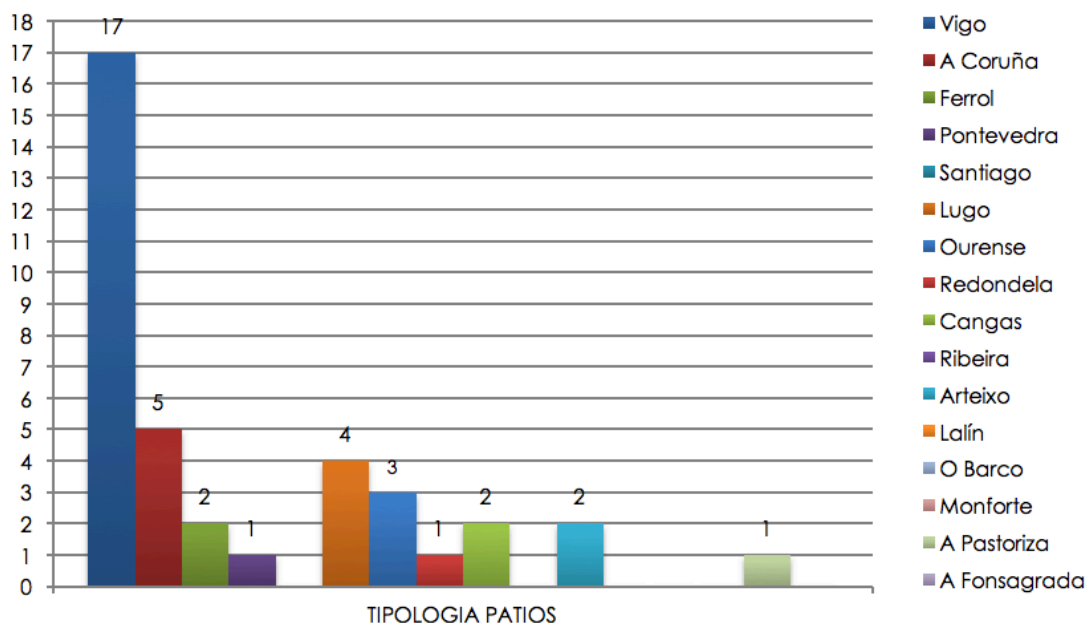
La solución de “patio abierto” normalmente está diseñado en forma de “U” para crear un espacio de juegos resguardado de las inclemencias meteorológicas y orientado a sur. Es una solución localizada en varios centros de la ciudad A Coruña. (Ver Anexo 1_Pat01.01). Dentro de la solución de patio abierto existen algunas propuestas con una concepción diferente en el diseño de este espacio. En vez de plantear un único espacio, se diseñan múltiples patios en fachada no con la finalidad de crear un espacio de juegos sino para poder dotar a la mayoría de aulas de mejores condiciones de iluminación y ventilación. (Ver Anexo 1 _PAT 01.02)

La solución de “patio cerrado” presenta diferentes diseños formales, la diferencia entre ellas radica en cómo se concibe ese espacio patio. En algunos casos, se trata de soluciones de un único patio centrado en torno al cual se organizan los espacios de comunicación (pasillos y escaleras) y disponiendo las aulas hacia el exterior (Anexo 1_ PAT.02.01). Mientras que en otros casos se diseñan varios patios centrados y se organizan espacios de trabajo colaborativo de los alumnos entorno a estos elementos. Se trata de una solución muy utilizado en las propuestas de los “Planes de Urgencia de Galicia” de año 1971 (Anexo1_PAT.02.02/03/04). Por último, también existe una solución repetida varias veces en la provincia de Pontevedra que plantea un patio longitudinal entre dos bloques longitudinales que permite que las aulas de los dos volúmenes tengan ventilaciones cruzadas y dobles orientaciones. (Anexo1_PAT.02.05).



Figura 14_ Soluciones de tipología “patio” del “Plan de Urgencia de Galicia”.
 Fuente: Google Maps

En la gráfica 04 se muestra un análisis de esta tipología por cada una de los núcleos de población considerados dentro del estudio:



Gráfica 04_Relación de la "tipología patio" por núcleos de población en Galicia.
Fuente: elaboración propia

Se detecta que esta tipología es muy utilizada en la ciudad de Vigo con 17 casos ya que la segunda población donde más se utiliza es en A Coruña con tan sólo 5 ejemplos. Se trata de un planteamiento muy interesante en zonas climáticas donde la severidad de invierno no es tan elevada y donde también existen días en los que se producen un sobrecalentamiento en el interior de las aulas. La organización en forma de patio permite ventilaciones cruzadas y facilita las estrategias de disipación del calor.

Uno de sus aspectos negativos es que se trata de soluciones menos compactas que las propuestas en bloque o atrio y en consecuencia existe una mayor superficie de transferencia de calor. Este puede ser uno de los motivos, por lo que dicha propuesta es menos relevante en ciudades como Ourense, Lugo o Santiago donde las condiciones invernales son más severas. Aun así, las ciudades de Ourense y Lugo cuentan con proyectos tipo del Plan de Urgencia de Galicia que planteaban soluciones con patio.

En el núcleo de A Pastoriza (zona E1) existe un ejemplo de "tipología patio". Debido a que no hay otras edificaciones con la misma tipología en esa zona climática se ha tomado la decisión de no tener en cuenta la tipología de patio en la zona climática E1.

A continuación se indica el conjunto de centros existentes bajo el criterio: zona climática, normativa constructiva y tipología de patio en Galicia (37 colegios):

Normativa	Tipología	ZONA CLIMATICA		
		C1	D2	D1
		30	3	4
Anterior a la NBE-CT-79	Patio	FE (2), CO (1), VI (14), PO (1), RED (1), CAN (2), ART (1)	OU (3)	LU (3)
Durante la NBE-CT-79	Patio	CO (4), VI (3), ART (1)		LU (1)

Tabla 03_Selección de la muestra según "zona climática", "normativa constructiva" y "tipología patio"
Fuente: elaboración propia

Tipología “ATRIO” (15 centros)

Se trata de centros escolares con una marcada estructura longitudinal y con un atrio central que funciona como elemento organizador. Las aulas se disponen en torno a este elemento lo que provoca que el edificio tenga una marcada doble orientación y un comportamiento térmico muy distinto entre espacios (figura 14 y 15).



Figura 14 y 15_ Tipología Atrio: edificios de 16 y 24 unidades.

Fuente: Google Maps

El atrio se localiza en el punto medio del edificio donde existe un gran espacio abierto que conecta las diferentes plantas del edificio, que está iluminado a través de la superficie acristalada de cubierta. En torno a este espacio se localizan los pasillos que dan acceso a las aulas (figura 16).

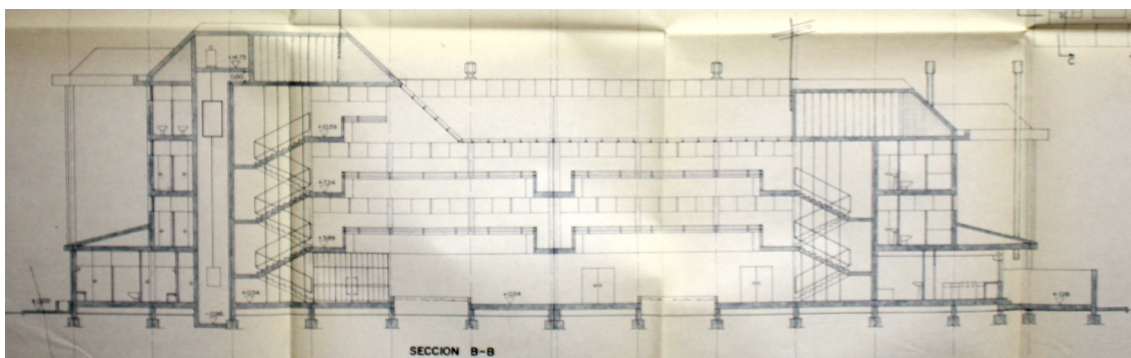


Figura 16_ Sección tipología “atrio” proyecto tipo 24 unidades.

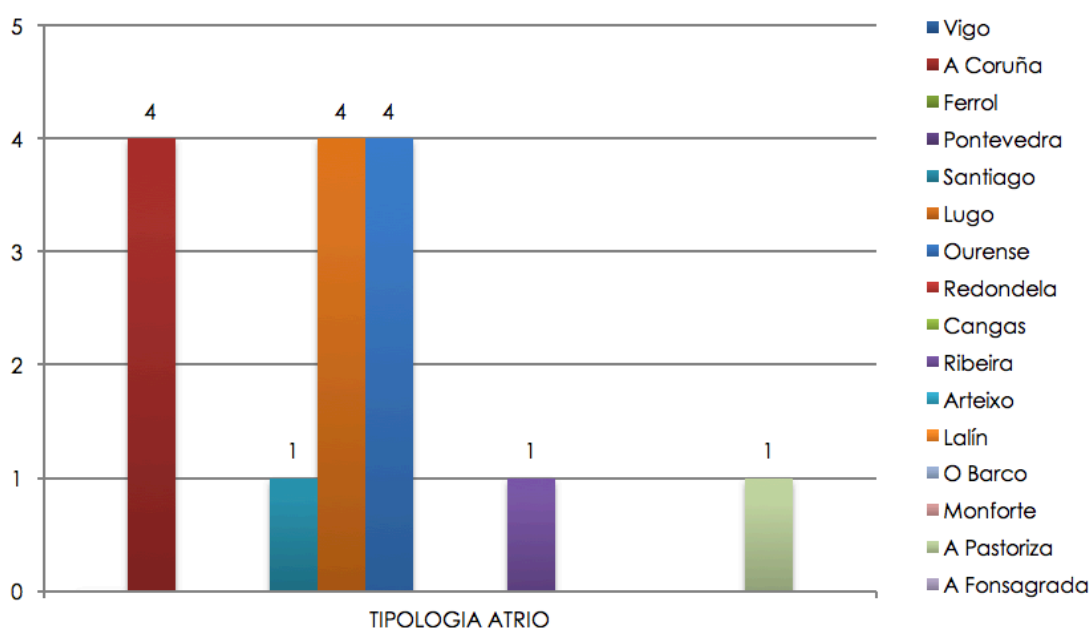
Fuente: Unidad Técnica de Lugo

La mayoría de ejemplos localizados en Galicia, se construyeron mediante un “proyecto tipo” durante el “Plan Extraordinario de Escolarización” (1979-1980) acordados durante los Pactos de la Moncloa. Se trata de un edificio muy repetido por diferentes ciudades de Galicia y en consecuencia se localizan en distintas zonas climáticas. Así pues, hay ejemplos en los núcleos de población de: A Coruña, Santiago de Compostela, Lugo, Ourense y Monforte de Lemos (Anexo 1_ ATR.03.01). Se trata de una edificación muy interesante para la investigación, porque se puede estudiar las soluciones de rehabilitación en el mismo edificio pero en climas distintos.

Al igual que en los edificios de los “Planes de Urgencia” de 1971, existen tres tipos de tamaños (8, 16 y 24 unidades) que se diferencia entre ellos porque crecen en altura. El ejemplo más repetido es la propuestas de 16 unidades que está formada por PB+II, disponiendo en la planta de acceso los diferentes servicios comunes del centro y en plantas superiores las aulas. Son edificaciones ubicadas en parcelas con espacio libre y en las que se intentó implantar el edificio en un eje NORTE-SUR para que las aulas tuvieran una orientación “este” y “oeste”.

Una característica presente en este “proyecto tipo” es que para poder resolver la construcción de los centros escolares con la mayor celeridad (menos de 1 año) se optó por una construcción industrializada. Así pues, este aspecto se detecta en el aspecto exterior de los centros escolares debido al ritmo que crea la estructura de pilares prefabricados

A continuación se muestra, en la gráfica 05 el número de centros con estas características en cada núcleo de población estudiado en la investigación.



Gráfica 05_Relación de la “tipología atrio” por núcleos de población en Galicia.

Fuente: elaboración propia

De los 15 edificios encontrados en los núcleos de población estudiados, 13 corresponde con el proyecto del “Pacto de la Moncloa”, las otras dos edificaciones se trata de propuestas que introducen la solución de atrio pero que no son construidas con el “proyecto tipo” de los otros casos. La solución de 24 unidades se ejecutó principalmente en la ciudad de A Coruña, en parte debido a que en los momentos de construcción existía una mayor demanda de alumnado que en otras ciudades. En las ciudades de Ourense y Lugo el edificio utilizado es el de 16 unidades.

En el núcleo de A Pastoriza (zona E1) existe un ejemplo de “tipología atrio”. Al no haber otras edificaciones con la misma tipología en esa zona climática se ha tomado la decisión de no considerar la tipología de atrio en la zona climática E1. En el caso de realizar una rehabilitación energética se deberían plantear las soluciones escogidas para los edificios con atrio de la ciudad de Lugo.

A continuación se indica el conjunto de centros existentes bajo el criterio: zona climática, normativa constructiva y tipología de patio en Galicia (14 colegios):

Normativa	Tipología	ZONA CLIMATICA		
		C1	D2	D1
		5	4	5
Anterior a la NBE-CT-79	Atrio	CO (4), RIB (1)	OU (2)	LU (2), MFT (1)
Durante la NBE-CT-79	Atrio		OU (2)	LU (1), STG (1)

Tabla 04_ Selección de la muestra según “zona climática”, “normativa constructiva” y “tipología atrio”

Fuente: elaboración propia

Tipología “BLOQUE LINEAL” (62 centros)

Se trata de centros escolares que no responden a un periodo constructivo determinado, porque hay ejemplos en todos los periodos. Son centros escolares que se organizan entorno a un “eje longitudinal” y donde las aulas se estructuran en paralelo a dicho espacio. Así pues, hay escuelas de tipología bloque lineal con una única orientación, doble o múltiples orientaciones.

Según los condicionantes de la parcela (forma y topografía), el diseño de estos edificios tiende a adaptarse y por lo tanto existen distintos planteamientos funcionales sobre la organización de los espacios educativos. De la muestra de edificios con tipología “*bloque lineal*” se diferencian en Galicia cuatro tipos (figura 17):

- Bloque longitudinal (Anexo 1_ BLO.04.01).
 Es la solución más repetida dentro de la tipología de “*bloque lineal*”.
 Son edificios que pueden tener una o doble orientación, configurándose mediante dos o tres crujías según el tipo.
 En el primer caso, la mejor implantación es una orientación sur de las aulas con las comunicaciones a norte. En la segunda opción para evitar grandes diferencias térmicas entre aulas se busca un asentamiento del edificio en un eje “norte-sur” con las aulas orientadas a “este” y “oeste”.
- Bloque quebrado (Anexo 1_ BLO.04.02).
 Se trata de un proyecto tipo repetido en núcleos de la costa atlántica como Ferrol, Vigo, y Ribeira. Se trata de una solución con doble orientación.
- Bloques paralelos (Anexo 1_ BLO.04.03).
 Se trata de un esquema que permite no crear edificios tan alargados y generar patios intermedios entre los bloques. Normalmente cuenta con dobles orientaciones.
- Bloques articulados (Anexo 1_ BLO.04.04).
 Son edificios con formas longitudinales que se adaptan a las parcelas creando grandes patios en sus interiores. Presenta múltiples orientaciones.

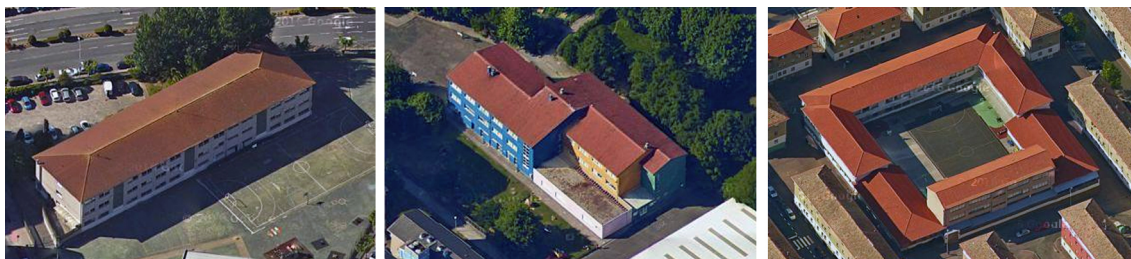
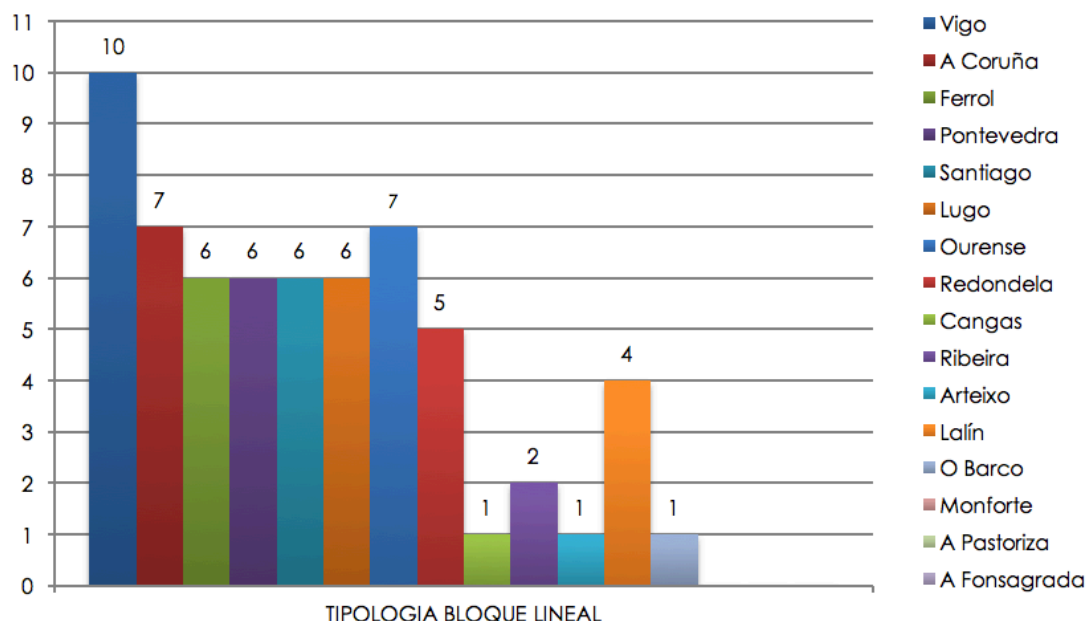


Figura 17_ Soluciones de tipología “bloque longitudinal”
 Fuente: Google Maps

Es la tipología edificatoria más empleada en la arquitectura escolar gallega por diferentes motivos; en primer lugar, es la solución más óptima desde un punto de vista económico porque con muy poca superficie de circulación se consigue dar servicio a gran número de aulas. En segundo lugar, se puede optar por una construcción muy sencilla y estandariza basada en los anchos de crujías de las aulas. En tercer lugar, se consigue una correcta iluminación y ventilación de todas la estancias

Como punto negativo de esta solución es que, al tener diferentes orientaciones, existen comportamientos térmicos muy distintos en las aula. Dentro de un edificio de esta tipología, existen grandes diferencias en cuanto al confort térmico, porque suelen existir aulas con orientaciones opuestas. Así pues, se pueden dar a la vez situaciones de sobrecalentamiento (por un exceso de radiación) y enfriamiento (por unas bajas prestaciones térmica de la envolvente). La mejor implantación de esta tipología suelen ser con el eje longitudinal de los bloques en

orientación NORTE-SUR, de esta manera se reduce la cantidad de fachada que hay hacia el norte y en consecuencia las pérdidas térmicas.



Gráfica 06_Relación de la "tipología bloque longitudinal" por núcleos de población en Galicia.
Fuente: elaboración propia

Todos los núcleos de población seleccionados para el presente estudio, cuentan con ejemplos de la tipología de bloque longitudinal. Si se atiende a las siete principales urbes gallegas, los casos de Vigo y A Coruña presentan una relación de $\frac{1}{4}$ de sus edificios escolares son de la tipología de bloque. En cambio el resto de urbes (Ourense, Lugo, Santiago, Ferrol y Pontevedra) tienen una relación más alta de centros con esta tipología que oscila desde el 42% de Lugo (6 de 14) hasta el 60% de Ferrol (6/10). Así pues, se convierte en un tipo de edificio con ejemplos en todas las zonas climáticas y que favorece realizar un estudio pormenorizado en la investigación doctoral.

A continuación se indica el conjunto de centros existentes bajo el criterio: zona climática, normativa constructiva y tipología de bloque en Galicia (62 colegios):

Normativa	Tipología	ZONA CLIMATICA		
		C1 39	D2 8	D1 15
Anterior a la NBE-CT-79	Bloque	FE (1), CO (5), VI (7), PO (7), RED (4), CAN (1), RIB (2)	OU (3), BAR (1)	LU (3), STG (5), LAL (3)
Durante la NBE-CT-79	Bloque	FE (5), CO (2), VI (3), RED (1), ART (1)	OU (4)	LU (3), STG (1)

Tabla 05_Selección de la muestra según "zona climática", "normativa constructiva" y "tipología bloque"
Fuente: elaboración propia

Tipología “MIXTA” (48 centros)

Se trata de un grupo de edificaciones donde no existe ningún elemento diferenciador que permita agrupar a las construcciones bajo una nueva tipología. Son propuestas que mezclan características comunes a las dispuestas en las tipologías de patio, atrio y bloque.

La mayoría de centros de esta tipología no presenta planteamientos teóricos tan claros como los otros tres tipos, en parte debido a los condicionamiento existentes de la parcela como son: la forma, topografía o medianería (figura 18).

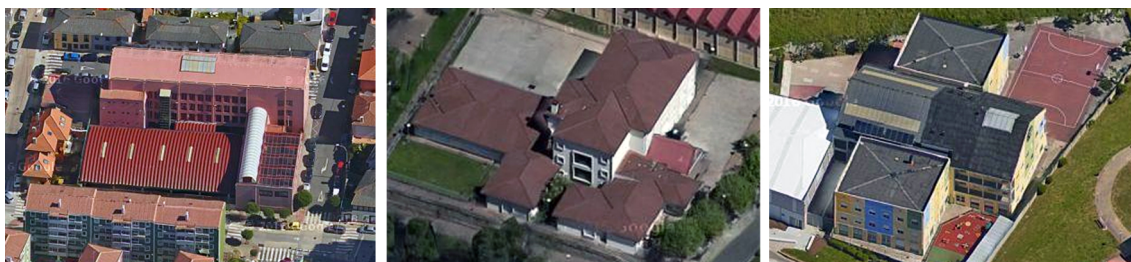


Figura 17, 18, 19_ Soluciones de tipología “bloque longitudinal”.

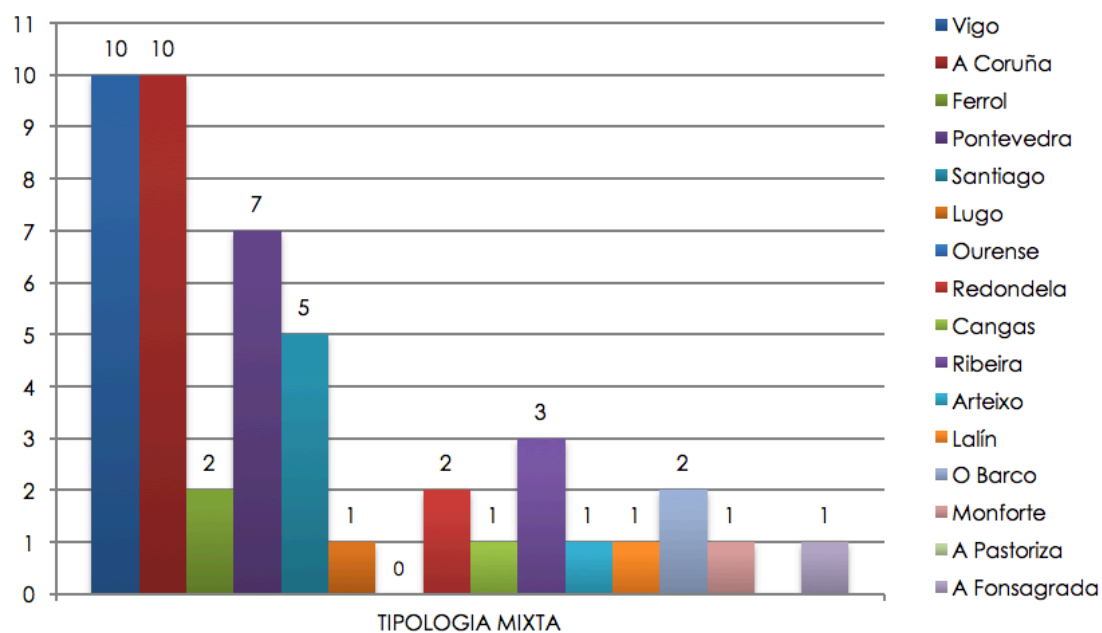
Fuente: Google Maps

Dentro de esta tipología se engloba soluciones tan diversas como la figura 17 que es el CEIP Rosalía de Castro (1989) localizado en la ciudad de A Coruña. Se trata de una solución que busca adaptarse a los condicionantes de forma de la parcela urbana existente creando un “bloque longitudinal” en altura que a su vez configura un gran espacio “patio” cubierto. Además incluye soluciones de iluminación cenital a través de dos grandes lucernarios o atrios, uno en forma de bóveda y otro en forma de cubierta acristalada a dos aguas.

Otro tipo de edificio que se encuentran en esta tipología son las soluciones articuladas en forma de brazos que permiten colonizar la parcela y crear multitud de espacios interiores como patios. La figura 18, corresponde con uno de estos ejemplos, el CEIP As Fontiñas (1989) en Santiago de Compostela. Este tipo de organización presenta la característica de contar con múltiples orientaciones en el edificio.

Por último, en la tipología mixta también destacan ejemplos de una arquitectura muy compacta con múltiples orientaciones como el CEIP San Xosé Obreiro de Arteixo, figura 19. Este tipo de edificaciones presenta ciertas similitudes con la tipología de “bloque” por contar con aulas con distintas orientaciones.

En cuanto a los diferentes ejemplos que se encuentra de esta tipología en los núcleos de población estudiados, se puede determinar que las principales urbes como A Coruña y Vigo cuenta con numerosos casos (10 centros). En parte esto se debe a que muchos de los centros se encuentran en la trama urbana consolidada y por lo tanto las parcelas tiende a condicionar la forma de la edificación. No sucede lo mismo en núcleos de población más pequeños donde muchas veces se cuentan con parcelas que tienen gran espacio libre lo que permite planteamientos de diseño más libres.



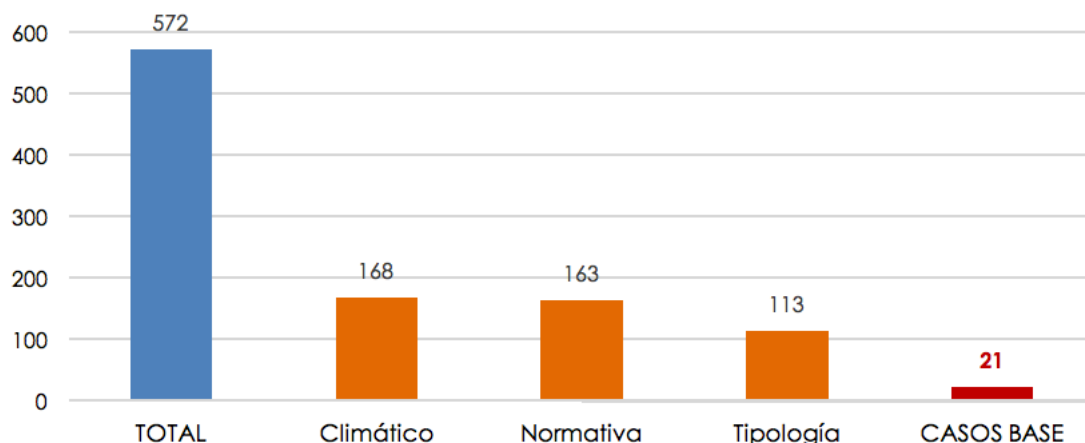
Gráfica 07_Relación de la "tipología mixta" por núcleos de población en Galicia.
Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, la "tipología mixta" debido a que muestra características comunes a otras tipologías se considera más acertado no incluir en el estudio de la investigación, porque será más riguroso el estudio de dichas características en edificios con una tipología claramente reconocible. Las soluciones de rehabilitación energética planteadas para las otras tres tipologías podrán ser extrapolables a este tipo de edificaciones porque presentan rasgos comunes.

Selección de los “casos de estudio”

El objetivo primordial de la tesis es determinar si los centros escolares existentes pueden alcanzar la premisa de convertirse en un edificio rehabilitado de consumo casi nulo (nZEB). Para que la investigación sea lo más veraz posible es necesario escoger una muestra de centros que cubra todo el espectro de posibilidades. Para ello, el proceso de análisis realizado con anterioridad ha proporcionado un correcto acercamiento a la arquitectura escolar gallega existente y de esta manera las conclusiones que se obtengan podrán ser extrapolables al mayor número de edificios posible.

Así pues se ha partido de un total de 572 CEIP's para posteriormente ir realizando una selección secuencial hasta llegar a los 21 “casos base” que serán objeto de estudio (gráfica 08).



Gráfica 08_Secuencia de selección de los 21 “casos base”

Fuente: elaboración propia

Con los diferentes análisis llevados a cabo se ha llegado a la conclusión de que en la arquitectura escolar gallega hay una serie de tendencias comunes que permiten agrupar los CEIP's bajo 8 categorías que son: **tres zonas climáticas** (C1, D1 y D2), **dos normativas constructivas** (antes y durante la NBE-CT-79) y **tres tipologías edificatorias** (patio, bloque y atrio).

A continuación se muestra la tabla de selección de los 21 “casos base”:

		ZONA CLIMATICA		
		C1	D2	D1
		11	5	5
Anterior a la NBE-CT-79	Normativa			
	Tipología			
Anterior a la NBE-CT-79	Patio	CEIP Vilaverde Mourente (PO) CEIP Balaídos (VI) CEIP Isaac Peral (FE)	CEIP Plurilingüe Seixalbo (OU) CEIP Albino Núñez (OU)	CEIP Casás (LU)
	Atrio	CEIP Emilia Pardo Bazán (CO) CEIP Víctor López Seoane (CO)	CEIP O Couto 01 (OU)	CEIP Paradai (LU) CEIP A Gándara (MNF)
	Bloque	CEIP O Sello (VI) CEIP Valle Inclán (VI) CEIP Plurilingüe Pintor Laxeiro (VI)	CEIP O Couto 02 (OU)	CEIP As Mercedes (LU)
Durante la NBE-CT-79	Patio	CEIP María Pita (CO) CEIP Salgado Torres (CO)	-	-
	Atrio	-	-	-
	Bloque	CEIP San Francisco (CO)	CEIP Maestre Vide (OU)	CEIP Menéndez Pelayo (LU)

Tabla 05_Selección de los 21 “casos base”

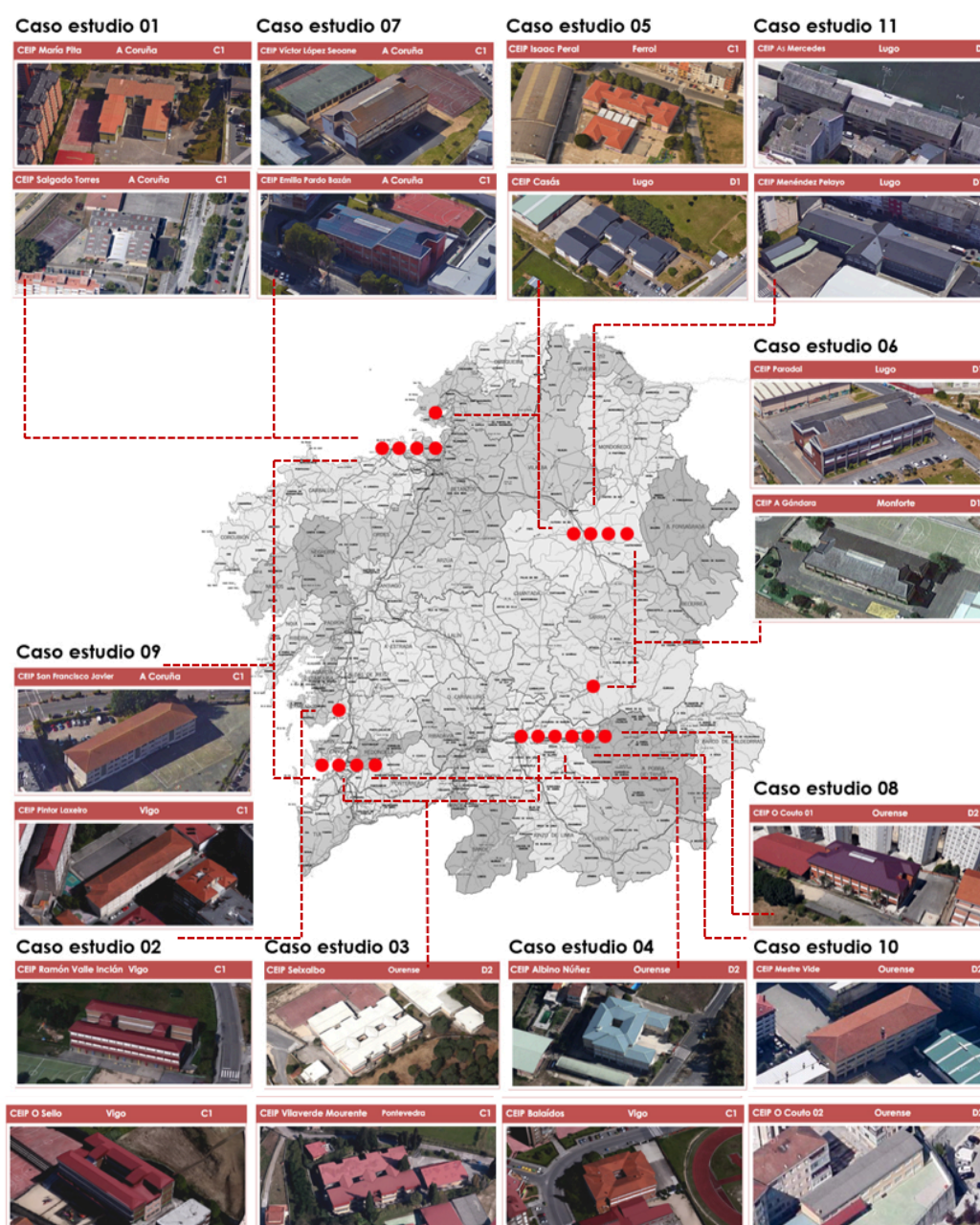
Fuente: elaboración propia

A través de estas 8 categorías se han escogido 21 ejemplos muy representativos de la arquitectura escolar gallega. La selección se ha basado en crear distintos "casos de estudio" formados por diferentes "casos base" que serán comparados para obtener conclusiones. Antes de continuar, es necesario definir dos términos para la comprensión de la investigación:

"caso base": se trata de cada uno de los centros escolares (CEIP) escogidos para el estudio bajo los 8 criterios explicados con anterioridad. Hay 21 "casos base".

"casos de estudio": son agrupaciones de "casos base" realizadas con el objetivo de llevar a cabo un estudio comparativo. Hay 11 "casos de estudio".

La finalidad del carácter comparativo de los 11 "casos de estudio" es determinar qué aspectos influyen más en la rehabilitación energética. Así pues, cada caso de estudio compara centros pertenecientes a una misma tipología, pero que tienen aspectos distintos como la orientación, el clima, la normativa o el tamaño. A continuación, se realiza una breve descripción de los colegios que forman los "11 casos de estudio", así como su ubicación geográfica:



Caso de estudio 01 CEIP María Pita (A Coruña) y CEIP Salgado Torre (A Coruña)

Se trata de dos centros escolares pertenecientes a la tipología de "patio" que fueron construidos con el mismo proyecto tipo y que tienen la misma orientación. La diferencia entre ambos es que el CEIP María Pita es un proyecto de 24 unidades (PB+II) y el CEIP Salgado Torres es de 16 unidades (PB+I). Además de estos dos centros, existen otros casos con características tipológicas similares (Anexo 1_ PAT.01.01).

**Caso de estudio 02** CEIP O Sello (Vigo) y CEIP Valle Inclán (Vigo)

Son dos centros escolares pertenecientes a la tipología de "patio" que fueron construidos con el mismo proyecto tipo pero que tienen una orientación diferente. En el caso del CEIP O Sello, el edificio se organiza en un eje "este-oeste" disponiendo las aulas a norte y sur; mientras el caso del CEIP Valle Inclán la orientación de las aulas están a este y oeste. Además de estos ejemplos existente otros similares en la provincia de Pontevedra (Anexo 1_ PAT.02.05).

**Caso de estudio 03** CEIP Vilaverde Mourente (Pontevedra) y CEIP Plurilingüe Seixalbo (Ourense)

Se trata dos centros escolares correspondientes a la tipología de "patio" y construidos con el mismo "proyecto tipo" y la misma orientación, pero localizado en zonas climáticas distintas. El CEIP Vilaverde Mourente se encuentra en Pontevedra, zona C1; mientras que el CEIP Seixalbo está en Ourense que es zonas D2. Existen edificios idénticos en las provincias de Ourense y Pontevedra (Anexo 1_ PAT.02.02).



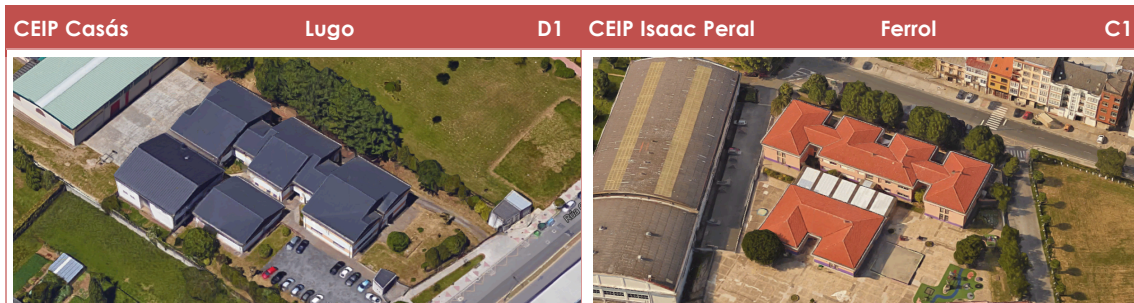
Caso de estudio 04 CEIP Balaídos (Vigo) y CEIP Albino Núñez (Ourense)

Son dos centros escolares pertenecientes a la tipología de “patio” construidos con el mismo proyecto tipo, pero ubicados en diferentes zonas climáticas y con distinta orientación. El CEIP Balaídos está en Vigo, zona C1 y el CEIP Albino Núñez está en Ourense, zona D2. En la provincia de Pontevedra existen proyecto idénticos (Anexo 1_ PAT.02.01).



Caso de estudio 05 CEIP Casás (LU) y CEIP Isaac Peral (FE)

Se trata de dos centros escolares distintos que pertenecen a la tipología de “patio”. Fueron construidos con la misma normativa pero se ubican en zonas distintas. El CEIP Casás se encuentra en la ciudad de Lugo, zona D1; mientras que el CEIP Isaac Peral está en la ciudad de Ferrol que es C1. Aunque estos proyectos no han sido repetidos por otras zonas de Galicia, existen otros ejemplos que guardan similitudes tipológicas con ellos y a los que se pueden extrapolar las conclusiones obtenidas (Anexo 1_ PAT.01.02).



Caso de estudio 06 CEIP Paradai (LU) y CEIP A Gándara (MNF)

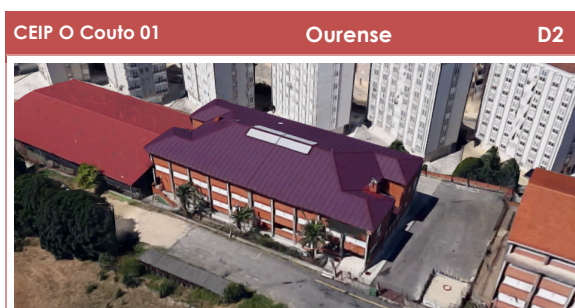
El caso de estudio 06, se trata del mismo edificio (16 unidades) pero localizado en dos núcleos distintos: Lugo y Monforte. Ambos casos tienen una orientación similar disponiendo el edificio en un eje "norte-sur" y teniendo las aulas a este y oeste.

**Caso de estudio 07** CEIP Emilia Pardo Bazán (CO) y CEIP Víctor López Seoane (CO)

El caso de estudio 07, está formado por dos centros de distintos tamaño, el CEIP Emilia Pardo Bazán (24 unidades) y el CEIP Víctor López Seoane (16 unidades). Ambos casos, se localizan en la ciudad de A Coruña (zona climática C1) y tienen la misma orientación. Además estos dos casos también presenta una orientación similar a los casos de estudio 06.

**Caso de estudio 08** CEIP O Couto 01 (OU)

El caso de estudio 08, se trata del CEIP O Couto que es un proyecto de 16 unidades que se localiza en la ciudad de Ourense (zona climática D2). Con respecto a los dos anteriores casos de estudio tiene una orientación opuesta a ellos por lo que las aulas en el CEIP O Couto 01 están orientadas a norte y sur.



NOTA: Los casos de estudio 06, 07 y 08 corresponden con cinco edificios construidos con el mismo proyecto tipo en diferentes localidades como: A Coruña, Ourense, Lugo y Monforte de Lemos. La diferencia entre los cinco centros radica en su tamaño, orientación y zona climática. Existen otros edificios de similares en las provincias de A Coruña, Ourense y Lugo (Anexo 1 _ ATR.03.01).

Caso de estudio 09 CEIP Plurilingüe Pintor Laxeiro (VI) y CEIP San Francisco (CO)

Se trata de dos centros escolares distintos pertenecientes a la tipología de “bloque” que se encuentran en la zona climática C1, pero en ciudades diferentes como Vigo y A Coruña. Los dos edificios tienen orientación similar, pero fueron construidos en periodos normativos distintos.



Caso de estudio 10 CEIP O Couto 02 (OU) y CEIP Mestre Vide (OU)

Son dos centros escolares pertenecientes a la tipología de “bloque” localizados en la ciudad de Ourense (D2) y con una orientación similar. En el caso del CEIP O Couto 02 las aulas tienen una única orientación “sureste” mientras que en el CEIP Mestre Vide hay aulas con orientación “sureste” y otras con “noroeste”. La principal diferencia entre ellos es que fueron construidos con normativas constructivas distintos.



Caso de estudio 11 CEIP As Mercedes (LU) y CEIP Menéndez Pelayo (OU)

Se trata de dos centros escolares pertenecientes a la tipología de “bloque” localizados en la ciudad de Lugo (D1). El CEIP As Mercedes sólo tiene aulas orientadas a sur mientras que el CEIP Menéndez Pelayo tiene aulas a este y oeste. La principal diferencia entre ambos centros es que pertenecen a periodos constructivos distintos.



Capítulo V. Análisis climático

Este capítulo se dedica a estudiar el clima de las ciudades en las que se localizan los "casos base" mediante el análisis de las diferentes variables climáticas que influyen en cada zona geográfica. De esta manera se podrá determinar los aspectos positivos del clima y los negativos, que serán tenidos en cuenta en los procesos de rehabilitación energética. Por último, también se describen las necesidades higrotérmicas de los usuarios en los colegios y qué medidas se deberán tener en cuenta para alcanzar el confort en el interior de las aulas.

El diseño de la arquitectura siempre debe atender al lugar y al clima para que cada proyecto nazca resolviendo los problemas de su entorno. Uno de los puntos críticos de la mayoría de los "casos base" de esta investigación es que debido a la celeridad con la que se tuvieron que construir los edificios, se optó por repetir el mismo edificio por toda la geografía gallega, sin que la solución respondiera al clima concreto de cada zona.

Según Ángel Urrutia⁴, esta circunstancia de no preocuparse por las variables climáticas a la hora de proyectar se ve agravada muchas veces por aspectos como la ordenanza, la voluntad de estilo o las posibilidades de los materiales.

El confort interno de los usuarios en un edificio debe partir de un correcto diseño, que tenga en cuenta consideraciones como las que hace Olgyay sobre la necesidad de no basarse en la intuición a la hora de proyectar y sí en herramientas metodológicas que existen desde hace más de cincuenta años⁵ :

[...] La evaluación bioclimática es el punto de partida para cualquier proyecto arquitectónico que aspire a proporcionar un entorno climático equilibrado. [...] Muchas de estas medidas pueden conseguirse por medios naturales, es decir, adaptando el diseño arquitectónico a los elementos climáticos existentes.[...] Es tarea del arquitecto la utilización máxima de todos los medios naturales para producir una vivienda lo más sana y agradable posible, al mismo tiempo deberá buscar el ahorro en los costes [...]

⁴ URRUTIA, A. (2003). "Arquitectura Española Siglo XX", (p.31). Madrid: Manuales Arte Cátedra.

⁵ OLGAY, V. (1963) "Arquitectura y clima. Manual de Diseño Bioclimático para arquitectos y urbanistas" (p.23). Princeton.

Estas consideraciones tal y como comenta Cesar Martín Gómez ⁶, también hace alusión a ellas Francisco Javier Sáenz de Oíza en sus "Apuntes de Salubridad e Higiene" donde considera los factores de la humedad relativa, la radiación solar, velocidad del aire y temperatura para un correcto diseño bioclimático. Tal y como se ha detectado al visitar los centros escolares, estas dos últimas variables producen importantes situaciones de discomfort como asimetrías de temperatura e infiltraciones de aire en las aulas.

Una de las principales maneras de realizar una aproximación al clima es mediante los "diagramas de confort" (Olgay y Givoni), los cuáles serán utilizados para analizar cada localización de los casos base. Estos diagramas han sido empleados por arquitectos tan destacados como Sáenz de Oíza que los utilizó para determinar las premisas de diseño óptimas en diferentes ciudades de España (figura 20).

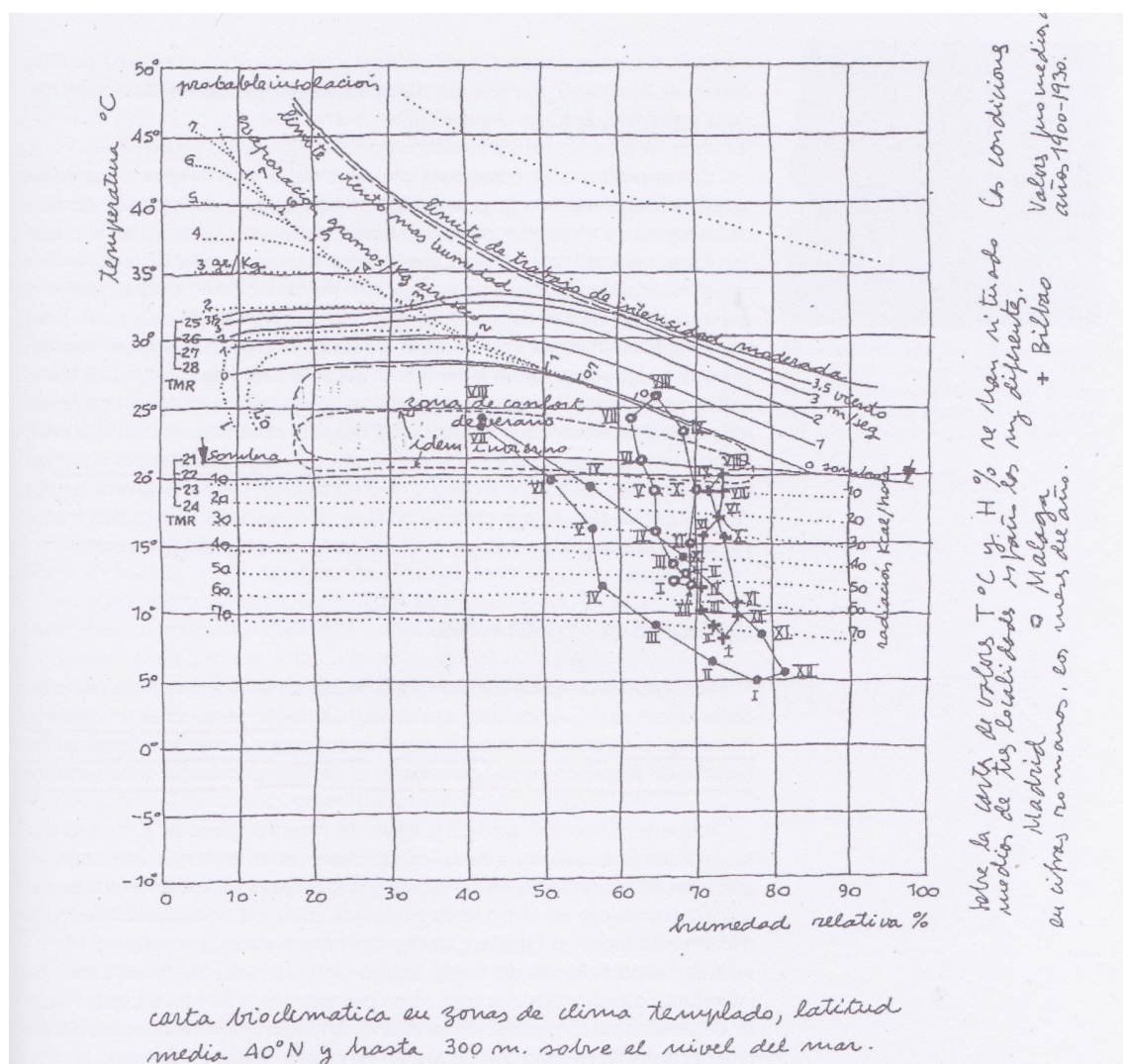


Figura 20 Diagrama de Olgay para la ciudades de Bilbao, Madrid o Málaga.
Fuente: Los Apuntes de Salubridad e Higiene de Francisco Javier Sáenz de Oíza.

⁶ MARTÍN, C. (2010). "Acerca de los apuntes de Salubridad e Higiene de Francisco Javier Sáenz de Oíza". Ediciones T6). Pamplona: Escuela Superior de Arquitectura. Universidad de Navarra.

Contexto climatológico en Galicia

Galicia se encuentra geográficamente en una posición de transición entre el continente y el mar lo que genera una continua influencia y variedad climatológica en todo su territorio tanto a nivel de "meso clima" como de "microclima". La situación y la morfología del territorio son dos factores esenciales para comprender los diferentes matices del clima gallego. Un ejemplo es la relación que existe entre las masas de aire oceánicas y la topografía montañosa de Galicia que provoca una elevada pluviometría en la región.

A rasgos generales, Galicia tiene un clima oceánico templado, húmedo y con elevadas precipitaciones; pero la compleja forma de su territorio provoca importantes diferencias. Las variedades climáticas se ven condicionadas por dos aspectos básicos: la graduación que existe entre "costa-montaña" y la relación entre horizontalidad (valles) y verticalidad (sierras).

Según diferentes publicaciones técnicas⁷, la distribución de las temperaturas y las precipitaciones en Galicia está directamente relacionada con la altitud del territorio. De acuerdo con esto, se pueden establecer hasta siete gradientes térmicos y pluviométricos distintos en toda la región que condicionan el clima de las principales urbes.

Las precipitaciones experimentan una mayor concentración en las regiones costeras (rías baixas, medias y altas) que se reduce a medida que se desplaza hacia el interior. A nivel anual, el periodo crítico es el periodo de otoño con una concentración del 35% de las lluvias totales, seguido por el invierno (28%), primavera (24%) y verano (13%). Si se analiza por regiones, Pontevedra es la que concentra un mayor número seguido de A Coruña, Lugo y Ourense. La forma del territorio juega un importante papel, porque se produce una marcada reducción de las precipitaciones a medida que se entra en los sectores interiores de Galicia (figura 21).

En cuanto a la temperatura media anual de Galicia es de 13,3°C, siendo en invierno de 8,5°C y verano de 19°C. Destaca el primer trimestre del año (enero-marzo) como el que concentra los valores más bajos, aspecto que tiene una importante repercusión en el funcionamiento de los centros escolares. Por provincias, Pontevedra y A Coruña además de destacar como las más lluviosas, también tienen climas cálidos estableciendo una diferencia de entre 1°C y 2°C con respecto a Lugo y Ourense. Según Patricia Liñares Méndez⁸ se experimenta un marcado decrecimiento de las temperaturas a lo largo del eje diagonal "noroeste-sureste" debido al efecto oceánico (figura 22).

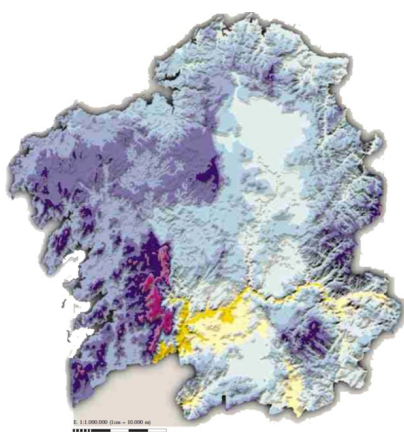


Figura 21_ Relación de zonas pluviométricas de Galicia.

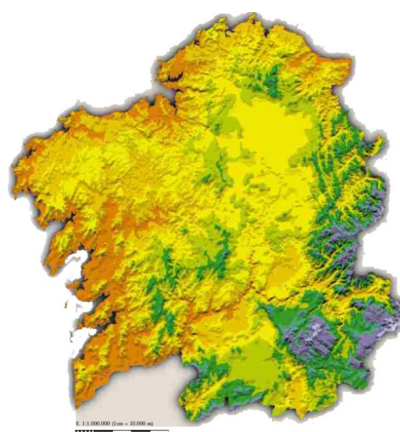


Figura 22_ Relación de zonas térmicas de Galicia.

Fuente: Atlas climático de Galicia

⁷ MARTINEZ, A., CASTILLO, F., PEREZ, A., VALCARCEL, M. y BLANCO, R. (1999). *Atlas Climático de Galicia*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.

⁸ LIÑARES, P. (2012). *Rehabilitación sostenible de viviendas históricas en Santiago de Compostela* (Tesis doctoral no publicada). ETSAM, Madrid.

Clima de los "casos de estudio"

En un proyecto de rehabilitación energética el estudio climático de la zona en la que se ubica el edificio es la primera herramienta y el punto de partida más acertado para una correcta intervención.

Los 21 centros escolares seleccionados se ubican en 7 urbes gallegas distintas que corresponde con 3 zonas climáticas diferentes. Para el estudio de las diferentes variables climáticas que influyen en cada localización, es necesario tener valores medidos durante un periodo prolongado que permita definir un "*año meteorológico tipo*". De esta manera se obtendrán valores sobre temperatura, humedad, viento y radiación que son tenidos en cuenta a la hora de escoger las mejores medidas de rehabilitación energética para cada zona.

Los datos climáticos han sido obtenidos de diferentes fuentes como:

1. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Se obtienen datos de las estaciones meteorológicas⁹ ubicadas en las ciudades. Datos de en un periodo entre 1981-2010.
2. Consellería de Medio Ambiente Territorio e Infraestructuras de la Xunta de Galicia (Meteogalicia)¹⁰. Los periodos de datos son de menor tiempo que AEMET.
3. Guía técnica: Condiciones climáticas exteriores de proyecto.¹¹

Los núcleos de población de Monforte de Lemos y Ferrol no cuentan con mediciones completas que permitan un análisis exhaustivo. Por lo tanto se ha tomado la decisión de que en base a la similitud climática que existe con las ciudades de Lugo y A Coruña respectivamente; se extrapolen las conclusiones sobre el clima. Esta idea parte de que las variables climáticas de temperatura y precipitación pueden ser tratadas de manera regional. Así pues, los núcleos de población estudiados climatológicamente son:

- | | |
|--------------|----------------------|
| - A Coruña | (Zona climática C1). |
| - Vigo | (Zona climática C1). |
| - Pontevedra | (Zona climática C1). |
| - Lugo | (Zona climática D1). |
| - Ourense | (Zona climática C2). |

⁹ AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA "AEMET". (2014). *Datos climatológicos*. Recuperado de <https://www.aemet.es/>

¹⁰ METEOGALICIA, XUNTA DE GALICIA. (2014). *Informes Meteorológicos*. Recuperado de <https://www.meteogalicia.gal/>

¹¹ INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA "IDAE". (2010). *Guía técnicas condiciones climáticas exteriores de proyecto*. Madrid: IDAE.

Análisis variables climáticas

A continuación se adjunta las tablas de los datos climatológicos de las diferentes estaciones meteorológicas ubicadas en las ciudades de estudio.

A CORUÑA. (Zona climática C1) (Estación meteorológica aeropuerto). Periodo: 1981-2010

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	9.3	13.1	5.4	121	77	13.6	0.2	0.7	5.1	3.7	4.4	99
Febrero	9.5	13.8	5.2	102	74	12.0	0.0	0.6	4.3	3.0	5.7	117
Marzo	11.1	15.7	6.6	85	71	11.6	0.0	0.4	4.3	1.2	5.9	155
Abril	12.1	16.5	7.7	99	72	13.5	0.0	1.0	4.2	0.1	4.9	173
Mayo	14.4	18.6	10.1	82	73	11.8	0.0	1.5	4.4	0.0	3.5	194
Junio	17.1	21.4	12.7	45	73	6.7	0.0	0.8	4.9	0.0	6.0	217
Julio	18.7	23.1	14.3	35	74	5.6	0.0	0.8	6.6	0.0	5.9	236
Agosto	19.1	23.7	14.5	36	74	5.9	0.0	1.0	8.5	0.0	6.9	240
Septiembre	17.7	22.6	12.9	72	75	8.2	0.0	1.1	8.8	0.0	6.3	181
Octubre	14.9	19.2	10.6	139	78	13.3	0.0	0.6	7.4	0.0	3.5	142
Noviembre	11.8	15.7	7.9	140	79	13.9	0.0	1.1	5.9	0.4	3.3	104
Diciembre	9.9	13.7	6.1	144	78	14.6	0.0	0.9	5.3	2.5	5.7	94
Año	13.8	18.1	9.5	1106	75	130.9	0.2	10.2	69.4	10.3	-	1939

VIGO. (Zona climática C1) (Estación meteorológica aeropuerto). Periodo: 1981-2010

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	8.6	11.9	5.4	208	84	14.0	0.1	1.1	10.9	1.7	6.3	114
Febrero	9.6	13.3	5.8	162	78	11.7	0.2	0.8	7.3	0.9	5.9	131
Marzo	11.5	15.7	7.3	141	73	11.6	0.1	0.7	7.2	0.3	7.4	178
Abril	12.4	16.6	8.2	157	73	13.5	0.0	1.9	7.0	0.0	5.0	193
Mayo	14.6	18.8	10.4	127	73	12.4	0.0	2.6	8.2	0.0	5.0	228
Junio	17.9	22.5	13.2	62	71	6.9	0.0	1.1	7.6	0.0	9.4	273
Julio	19.6	24.4	14.8	44	71	5.0	0.0	0.8	9.0	0.0	11.7	296
Agosto	19.8	24.7	15.0	45	71	4.7	0.0	0.9	9.5	0.0	11.8	287
Septiembre	18.3	22.8	13.8	102	74	7.8	0.0	0.9	9.1	0.0	9.1	212
Octubre	15.0	18.8	11.2	231	81	13.1	0.0	1.4	10.8	0.0	5.5	154
Noviembre	11.5	14.9	8.2	246	84	13.1	0.0	1.2	10.7	0.1	5.0	112
Diciembre	9.3	12.4	6.3	262	84	15.1	0.1	1.8	11.1	0.8	6.8	101
Año	14.0	18.0	9.9	1791	77	129.2	0.5	15.3	107.4	3.8	88.9	2269

PONTEVEDRA. (Zona climática C1) (Estación meteorológica ciudad). Periodo: 1985-2010

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	9.6	12.9	6.3	178	77	14.3	0.1	1.3	2.0	0.6	6.5	103
Febrero	10.4	14.2	6.5	133	72	11.3	0.0	0.8	1.8	0.4	6.1	123
Marzo	12.4	16.9	7.8	120	68	11.2	0.0	1.1	1.5	0.2	7.5	181
Abril	13.0	17.6	8.4	143	69	14.2	0.0	1.2	1.9	0.0	5.7	203
Mayo	15.8	20.6	10.9	118	69	12.0	0.0	2.2	1.9	0.0	5.2	238
Junio	18.6	23.8	13.4	64	67	7.0	0.0	0.8	2.6	0.0	9.2	262
Julio	20.4	25.9	14.9	44	67	5.1	0.0	0.7	3.1	0.0	12.7	294
Agosto	20.6	26.0	15.2	56	68	5.5	0.0	0.8	3.7	0.0	10.8	279
Septiembre	18.8	23.7	13.8	95	72	8.4	0.0	0.9	4.2	0.0	9.2	224
Octubre	15.7	19.6	11.7	224	76	13.6	0.0	1.5	3.1	0.0	6.1	145
Noviembre	12.1	15.4	8.7	222	78	14.1	0.0	1.3	2.7	0.0	6.0	104
Diciembre	10.3	13.4	7.1	216	77	14.4	0.0	1.2	2.9	0.5	7.2	91
Año	14.8	19.2	10.4	1613	72	131.3	0.2	13.9	31.9	1.8	92.5	-

LUGO. (Zona climática D1)

(Estación meteorológica aeropuerto). Período: 1985-2010

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	6.2	10.6	1.8	114	83	14.0	1.7	0.2	6.8	11.5	-	-
Febrero	7.0	12.3	1.7	87	79	11.1	1.7	0.2	6.7	10.7	-	-
Marzo	9.2	15.2	3.0	80	74	11.2	0.8	0.5	6.4	6.3	-	146
Abril	10.0	15.7	4.3	102	75	14.0	0.7	1.4	5.8	2.8	-	-
Mayo	13.2	19.3	7.2	81	73	11.6	0.0	3.4	7.0	0.4	-	191
Junio	16.1	22.3	9.9	52	73	6.6	0.0	1.9	7.9	0.0	-	211
Julio	18.2	24.4	12.0	34	73	4.6	0.0	1.4	7.8	0.0	-	231
Agosto	18.5	25.2	11.8	36	72	5.2	0.0	1.8	10.2	0.0	-	240
Septiembre	16.4	23.0	9.8	68	75	7.7	0.0	1.2	11.5	0.0	-	179
Octubre	12.9	18.3	7.6	137	81	13.6	0.0	0.7	8.2	0.7	-	135
Noviembre	8.9	13.3	4.5	144	85	14.3	0.3	0.6	8.1	5.1	-	86
Diciembre	6.9	11.0	2.7	134	85	13.8	1.0	0.4	6.7	10.2	-	85
Año	12.0	17.6	6.3	1052	77	126.3	6.0	13.8	94.0	49.6	-	-

OURENSE. (Zona climática C2)

(Estación meteorológica ciudad). Período: 1981-2010

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	8.0	12.7	3.4	89	81	10.2	0.6	0.7	8.7	7.7	3.2	87
Febrero	9.2	15.2	3.2	66	74	8.6	0.2	0.4	5.1	7.1	4.1	115
Marzo	11.9	18.7	5.0	59	68	8.4	0.1	0.6	1.8	3.1	5.8	166
Abril	13.3	19.8	6.7	72	67	11.1	0.0	1.8	1.6	0.4	4.3	180
Mayo	16.2	22.9	9.5	64	66	9.5	0.0	3.4	1.2	0.1	3.4	205
Junio	20.2	27.5	12.8	36	62	4.6	0.0	2.1	0.9	0.0	7.0	249
Julio	22.5	30.2	14.8	20	59	2.9	0.0	1.7	0.6	0.0	8.7	278
Agosto	22.6	30.6	14.5	22	60	3.3	0.0	1.8	0.9	0.0	8.3	268
Septiembre	19.9	27.5	12.3	57	65	5.8	0.0	1.6	2.2	0.0	5.4	204
Octubre	15.6	21.7	9.6	112	75	10.4	0.0	1.4	6.0	0.0	2.5	138
Noviembre	11.1	15.9	6.3	103	82	10.5	0.0	0.6	9.3	2.0	1.5	84
Diciembre	8.5	12.8	4.1	112	84	11.2	0.2	0.8	9.3	6.4	2.4	70
Año	14.9	21.3	8.5	811	70	96.9	1.1	17.3	47.1	27.3	-	2054

Tabla 06_Datos climáticos ciudades de los "casos base"

Fuente: AEMET

LEYENDA DE DATOS

T	Temperatura media mensual/anual (°C).
TM	Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C).
Tm	Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C).
R	Precipitación mensual/anual media (mm).
H	Humedad relativa media (%).
DR	Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm.
DN	Número medio mensual/anual de días de nieve.
DT	Número medio mensual/anual de días de tormenta.
DF	Número medio mensual/anual de días de niebla.
DH	Número medio mensual/anual de días de helada.
DD	Número medio mensual/anual de días despejados.
I	Número medio mensual/anual de horas de sol.

ANÁLISIS DE LAS TEMPERATURAS Y HUMEDAD RELATIVA

A CORUÑA

Durante el periodo escolar la ciudad de A Coruña presenta sus temperaturas máximas en los meses de Septiembre con una media máxima de 22,6°C y en Junio con 21,4°C. Esta situación determina que no existen condiciones de calor extremo durante los meses escolares. El mes con temperaturas mínimas más bajas es febrero con 5,2°C de media. A lo largo del año la temperatura tan sólo es inferior a 0°C 10 días destacando el mes de enero como el peor.

Las humedades relativas se mantienen altas y constantes todos los meses siendo la mínima de un 71% en marzo y la máxima del 79% en noviembre. Una humedad relativa tan alta asociada a temperaturas tan suaves genera una sensación térmica baja todo el año.

Se puede establecer que las temperaturas en la ciudad de A Coruña presenta una oscilación térmica anual pequeña donde sólo 4 días existen temperaturas superiores a 30°C y 10 días inferiores a 0°C. Por lo tanto, las temperaturas de la ciudad son suaves con inviernos templados y no muy fríos. Los veranos son suaves sin temperaturas extremas. El mes de referencia en cuanto a condiciones de calefacción es enero por ser el más severo y septiembre se trata del mes con mejores condiciones climáticas exteriores.

Un factor positivo del clima en A Coruña durante todo el año, es que las oscilaciones térmicas no son de media superiores a 8°C; esto permite que no exista un gran salto térmico entre la primera hora de colegio y la salida de los alumnos. Además, nos encontramos con que a primera hora, las temperaturas no son muy bajas permitiendo que los sistemas de calefacción no tarden tanto tiempo en alcanzar condiciones de confort.

VIGO

Las temperaturas en la ciudad de Vigo son igual de benévolas que en A Coruña. Destaca un mayor número de días con temperaturas superiores a 25°C (49 días), destacando junio y septiembre con un total de 17 días. Las temperaturas mínimas se registran en enero con 5,4°C de media. Sólo hay 4 días con temperaturas inferiores a 0°C. La tendencia de este clima es de inviernos templados y no muy fríos con veranos suaves sin temperaturas extremas.

La humedad relativa es un factor muy similar al de A Coruña, oscilando entre el 71% (marzo) y el 84% (noviembre). También destaca una baja oscilación térmica anual, lo que provoca que la temperatura sea muy constante todo el año entre el día y la noche.

PONTEVEDRA

La ciudad de Pontevedra destaca por tener un clima similar a los casos de A Coruña y Vigo, siendo más cercano a este último por su proximidad geográfica. Las temperaturas son un poco superiores a las de Vigo en los meses fríos, lo que establece unas condiciones climáticas más óptimas. Tan sólo existe una media de dos días al año con temperaturas inferiores a los 0°C.

La humedad relativa mínima se da en el mes de junio con un porcentaje del 67% y la máxima en el mes de noviembre con un 78%. Así pues, en general los inviernos y los veranos son suaves con una oscilación térmica baja lo que favorece para tener una mayor estabilidad térmica en el interior de las aulas.

LUGO

Presenta un clima con ciertas diferencias al resto de ciudades. Durante los meses fríos, las temperaturas máximas son una media de 2°C más bajas que en el caso de A Coruña. Los meses cálidos del periodo escolar como junio, la media de las temperaturas mínimas también es bastante inferior a la de las ciudades costeras (A Coruña 12,7°C y Lugo 9,9°C). Así pues Lugo destaca por ser la segunda ciudad con mayor oscilación térmica lo que se traduce en mayores posibilidades de situaciones de discomfort en el interior de los centros escolares.

El número de días con temperaturas superiores a 25°C es de 55 días, de los cuáles 12 de ellos superan los 30°C. Por otro lado, la temperatura es inferior a 0°C un total de 50 días, lo que provoca que sea la ciudad con mayor número de días con temperaturas por debajo de los 0°C. Así pues, destacan el mes de enero con 12 días, febrero con 11 y diciembre con 10. Incluso en meses templados como marzo y abril existen 6 y 3 días respectivamente. En cuanto a las humedades relativas, la ciudad de Lugo es la segunda de Galicia con valores más altos después de Santiago de Compostela, algunos meses se alcanza el 85%.

Por lo tanto, se puede concluir que Lugo se trata de la ciudad con las condiciones climatológicas invernales más severas. En cuanto a los meses cálidos las temperaturas también son suaves aunque un poco superior a las ciudades costeras. La diferencia más importante radica en que existe una mayor oscilación térmica anual, esta situación provoca que durante los meses más cálidos del periodo escolar existan temperaturas más bajas a primera hora y superiores al resto durante media mañana, generando una baja estabilidad térmica en el interior de los edificios.

OURENSE

La ciudad de Ourense corresponde con otra zona climática distinta y esto se traduce en importantes diferencias. En cuanto a las condiciones climáticas de invierno, el mes de febrero es el más duro con una temperatura media mínima de 3,2°C. Además hay un total de 27 días al año con temperaturas inferiores a los 0°C. Después de Lugo es la segunda ciudad con mayor severidad climática invernal.

Entre los meses cálidos del periodo lectivo, destacan junio y septiembre con temperaturas máximas que rondan los 27,5°C, siendo 6°C más altas que en A Coruña y 5° que Lugo. El número de días al año con temperaturas superiores a 25°C es de 123 días, destacando mayo, junio y septiembre con 10, 21 y 20 días respectivamente. Debido a estas características Ourense presenta la mayor severidad climática de verano de todas las ciudades. Además se trata de la ciudad con mayor oscilación térmica entre el día y la noche, pero con temperaturas mínimas que no son tan bajas como en Lugo.

Las humedades relativas presentan diferencias entre todos los meses, siendo la mínima del 59% en julio y la mayor del 84% en diciembre. Así pues, se trata de la ciudad con menor humedad relativa de las estudiadas en la presente tesis.

En general Ourense destaca por tener el clima más extremo, con mayores oscilaciones térmicas y temperaturas más altas que el resto de ciudades. Los inviernos son más fríos y duros que en las ciudades costeras, pero no tanto como en Lugo. Los meses cálidos del periodo escolar presenta también temperaturas más altas que el resto de ciudades lo que determina que puntualmente se necesiten estrategias pasivas de ventilación para disipar el sobrecalentamiento en el interior de las aulas.

Temperatura máximas y mínimas (Tº) _ A Coruña/Vigo/Lugo/Ourense/Pontevedra

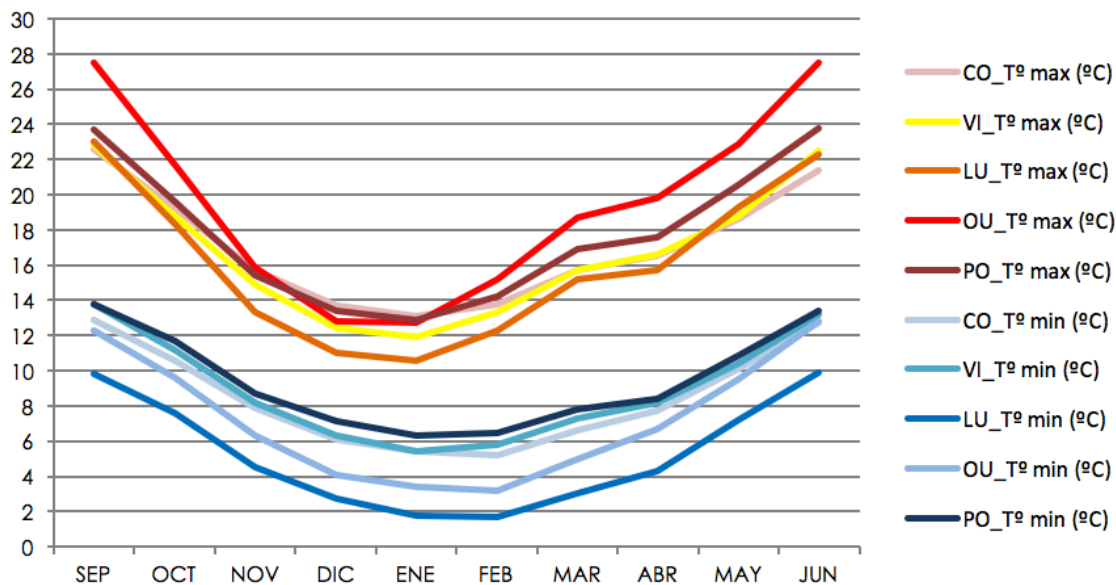


Tabla 07_Temperaturas máximas y mínimas

Oscilación térmica mensual (Tº) _ A Coruña/Vigo/Lugo/Ourense/Pontevedra

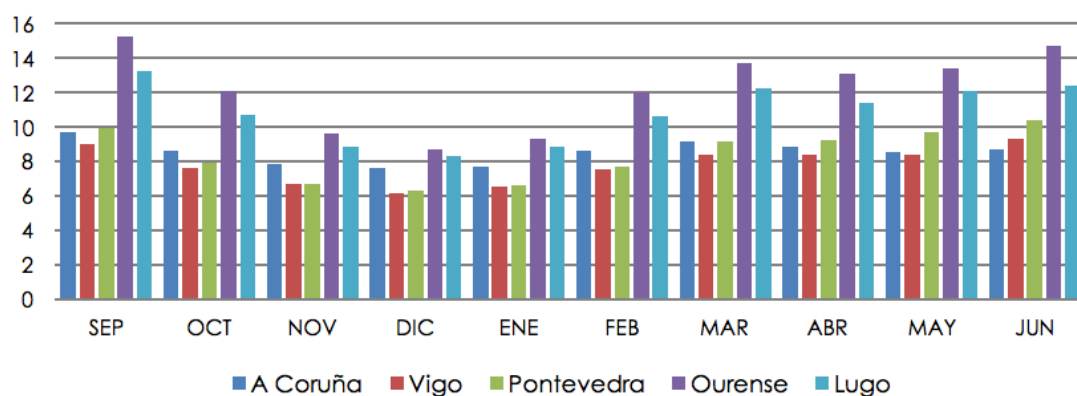


Tabla 08_Oscilación térmica térmica

Humedad Relativa (Tº) _ A Coruña/Vigo/Lugo/Ourense/Pontevedra

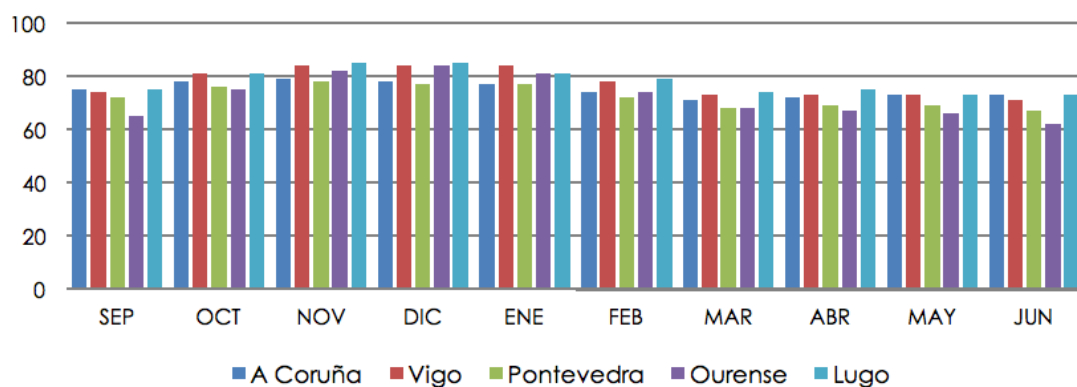


Tabla 09_Humeda relativa
Fuente: elaboración propia

ANÁLISIS DE DÍAS DE NIEBLA, HELADA, LLUVIA Y CIELOS CUBIERTOS

A CORUÑA

A Coruña tiene todos los meses una media de 5 días de niebla, destacando septiembre y octubre con 9 y 7 respectivamente. Además existe un total de 94 días de cielos cubiertos (25,75% del total). De las ciudades costeras es la que tiene un menor número de horas de sol al año (1.939 horas de un máximo de 4.455) lo que supone un 43% que es muy similar al de Lugo.

Existe una media de 131 días de lluvia al año (36% de los días llueve), alcanzando en diciembre un 47% de los días. Aun así se trata de la ciudad costera con menor ratio. En cuanto a los días de helada sólo existen 10 lo que provoca que las temperaturas exteriores no sean muy bajas y en consecuencia que la temperatura interior en los colegios a primera hora sea superior a la de otras ciudades con mayor severidad como Ourense y Lugo.

En conclusión, las medidas de rehabilitación deben estar orientadas en primer lugar, a la conservación de la energía. Como medida complementaria se podrían implementar soluciones de captación aunque debido al alto número de días con niebla y cielos cubiertos su efectividad será baja. Además en un edificio docente cuyo horario de funcionamiento es hasta el mediodía, las estrategias pasivas de captación, acumulación y distribución alcanzan su mayor efectividad cuando los alumnos dejan de utilizar el centro.

VIGO

Vigo presenta un total de 107 días al año con nieblas. Se trata de la ciudad con mayor número de días con niebla. El mes con menor número es abril con 7 y los que presentan mayor número son octubre, noviembre, diciembre y enero con una media entre 10 y 11. El fenómeno de las heladas es de escasa importancia al igual que en A Coruña.

En cuanto a las lluvias Vigo tiene 129 días al año que corresponde con un 35% del total. Es la segunda ciudad con mayor pluviometría de las estudiadas en la tesis.

El aspecto más positivo de esta ciudad es que presenta una media de 89 días despejados (24,35% del total) y a su vez tiene el mayor número de horas de sol al año que es ligeramente superior al 50%. Estas dos situaciones provocan que Vigo sea una de las ciudades gallegas donde implementar soluciones de captación solar sean más efectivas, aun así hay que tener en cuenta que también existe un porcentaje elevado de nieblas (29%).

PONTEVEDRA

Pontevedra destaca por ser la ciudad con mejores condiciones climáticas de las estudiadas. El número de días al año con nieblas es tan sólo de 32 (8% del total). El efecto de la helada también es prácticamente despreciable con solo 2 días al año.

Uno de los factores climatológicos peores de esta ciudad es que existe un total de 102 días cubiertos (27% del año) y 131 de lluvias al año destacando los meses de enero, abril y diciembre como los de mayores precipitaciones. En contraposición, se trata de la ciudad con mayor número de días despejados, un total de 92 días (25% del año) y la segunda con más horas de sol.

Por tanto Pontevedra se caracteriza por ser la ciudad con mejores condiciones climáticas para implantar medidas de captación solar. Estas medidas combinadas con soluciones de conservación de la energía como la inercia térmica, producirán importantes reducciones en la demanda.

LUGO

Lugo destaca por tener una media alta en cuanto a días de niebla, con un porcentaje de entre el 20% y el 27% de días al mes. Este es un factor que impide la captación solar a las primeras horas del día mientras la niebla no se disipe.

Otro factor destacado en la climatología de Lugo son las heladas, porque existe un total de 50 días. Son muy frecuentes en los meses de mayor frío como: diciembre, enero y febrero en los que se sitúa en torno al 30%. Esta ciudad también sobresale por su nubosidad con un total de 145 días (39% del total). Así pues, Lugo es la ciudad con mayores heladas y mayor nubosidad.

En cuanto a la lluvia se trata de la segunda ciudad en la que menor proporción de días lluviosos (35% de los días), aun así el valor es alto en relación con otras ciudades de España.

En conclusión, las medidas pasivas de captación solar en una ciudad como Lugo no son muy efectivas por el alto número de días nubosos (39%) y con helada (30% de días en invierno). La mejor estrategia pasiva es la conservación de la energía a través de la inercia térmica y el aislamiento que permitirá reducir las pérdidas con el exterior. La posibilidad de que los cerramientos tengan masa térmica favorece que exista una mayor estabilidad térmica en el interior y así reducir las oscilaciones de temperatura.

OURENSE

Ourense presenta un total de 47 días con nieblas, destacando los meses invernales de noviembre, diciembre y enero con una media de 9 días. El efecto de las heladas es también importante durante los meses invernales, pero no tanto como en Lugo; así pues los peores momentos son: diciembre, enero y febrero con 6, 8 y 7 días respectivamente. Uno de los aspectos más positivos de su clima es que se trata de la ciudad con menor número de lluvias.

Se trata de una de las ciudades con menor número de días despejados al año, tan sólo un 13% del total lo que está asociado con el número de horas de sol que es del 46%. Estas circunstancias suponen que al igual que en el caso de A Coruña, las estrategias de captación solar serán de apoyo a las soluciones de conservación de la energía.

En general, las ciudades de la tesis, presentan valores de horas de sol bajos con respecto a otras ciudades de la península ibérica. Existen importantes diferencias entre ellas como es el caso de Lugo y Pontevedra, ya que si realizamos un análisis conjunto de todas las características climáticas, en el caso de Lugo las medidas de captación se deben anteponer a las de conservación y en el caso de Pontevedra se deberán combinar para una mayor eficiencia energética en la rehabilitación de los centros escolares.

Días despejados, intermedios y cubiertos

Niebla	Helada	Cubiertos	Despejados	Lluvia	Horas de sol ¹²
A CORUÑA:	69,4 días	10,3 días	93,9 días	62,0 días	1.939 (43,5 %)
VIGO:	107,4 días	3,8 días	117,4 días	88,9 días	2.269 (50,9 %)
PONTEVEDRA:	31,9 días	1,8 días	102,4 días	92,2 días	2.247 (50,4 %)
LUGO:	94,0 días	49,6 días	145,2 días	33,0 días	1.837 (41,2 %)
OURENSE	47,1 días	27,3 días	90,1 días	49,3 días	2.054 (46,1 %)

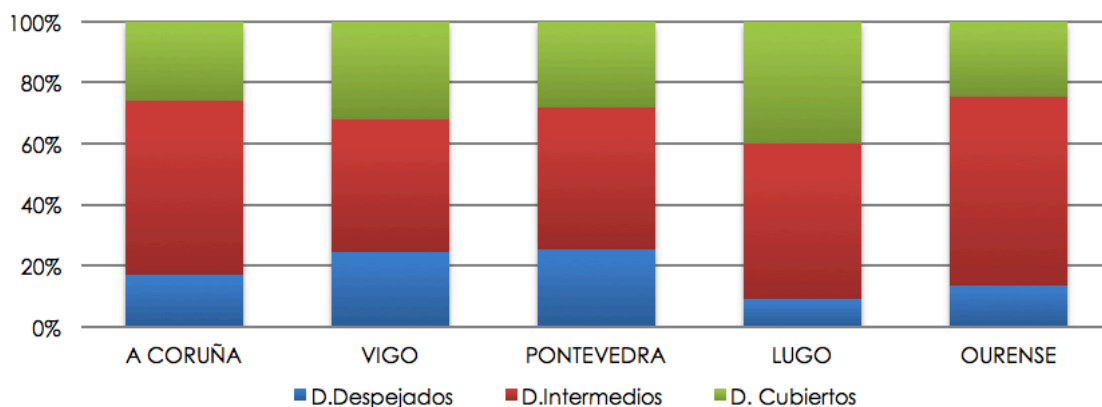


Tabla 10_Días despejados, intermedios y cubiertos

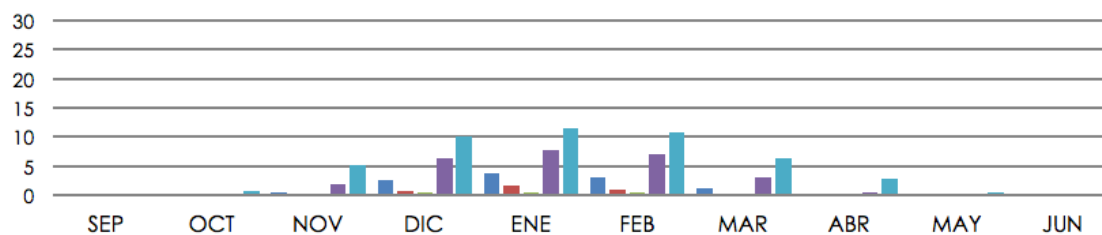
Días de niebla, helada y lluvia

Tabla 11_Días de helada

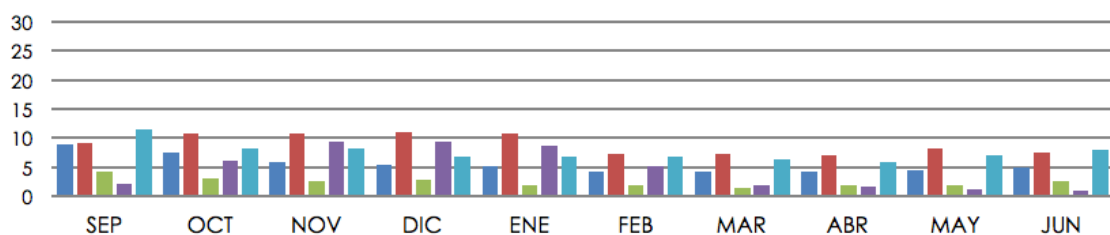
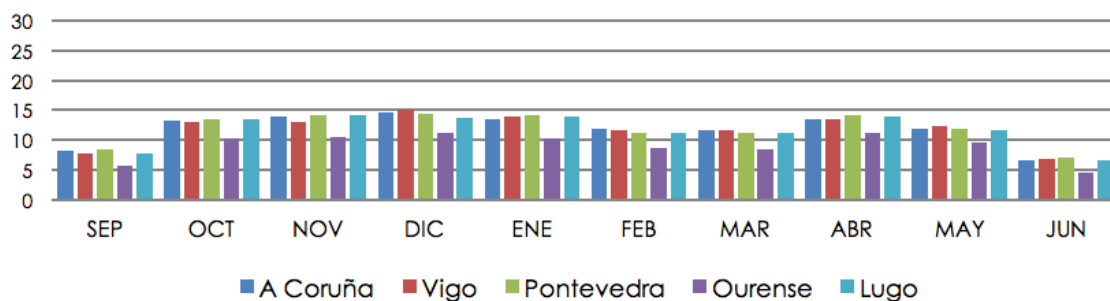


Tabla 12_Días de niebla

Tabla 13_Días de lluvia
Fuente: elaboración propia

¹² ALMOROX ALONSO, J. (2015). *Tabla de horas de sol máximas*. Departamento de Climatología de la Politécnica de Madrid. Recuperado de: <https://ocw.upm.es/>

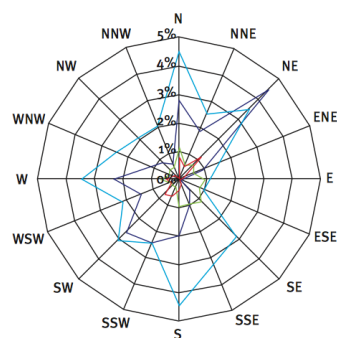
ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS VIENTOS:

Para terminar de analizar las variables climáticas se realiza el análisis de la influencia de los vientos en los cinco núcleos de población; para ello se adjuntan las "rosas de los vientos"¹³:

A Coruña

Velocidad media 3,43m/s.

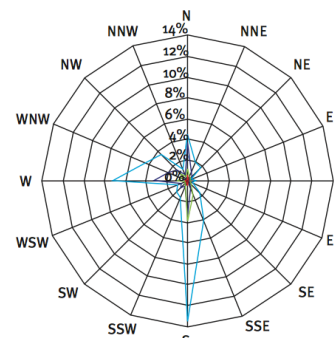
Calma 17%



Vigo

Velocidad media 3,01m/s.

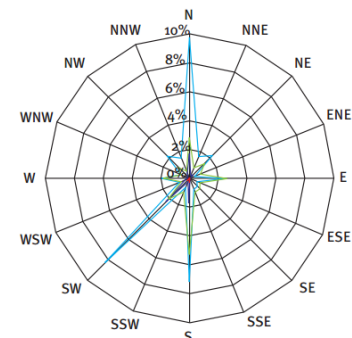
Calma 16%



Pontevedra

Velocidad media 2,06m/s.

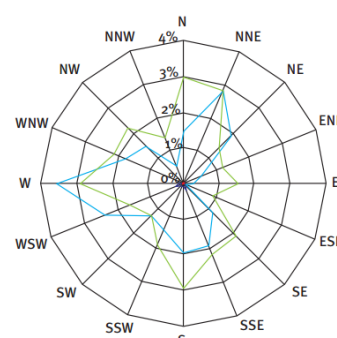
Calma 26%



Ourense

Velocidad media 1,19m/s.

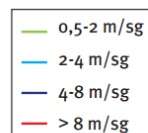
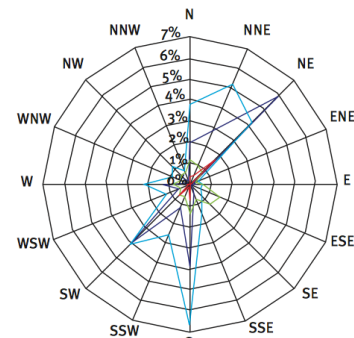
Calma 43%



Lugo

Velocidad media 3,07 m/s.

Calma 22%



La influencia de los vientos es muy diferente en los cinco casos e incluso entre ciudades próximas como Vigo y Pontevedra. La primera de ellas tiene principalmente vientos de componente sur con una intensidad media de 3m/s y con un bajo porcentaje de días en calma. En cambio la ciudad de Pontevedra presenta hasta tres direcciones principales como: sur, suroeste y norte; pero la intensidad es de 2,06m/s y los días de calma son mayores que en Vigo.

La ciudad de A Coruña presenta gran diversidad en cuanto a la dirección de los vientos lo que provoca que no exista una predominancia. Lo que sí es muy importante en esta ciudad es la intensidad media de los vientos que es la más alta de todo Galicia, con un valor de 3,4m/s.

El caso de Ourense es similar al de A Coruña en cuanto a las múltiples direcciones del viento los vientos (norte, sur y oeste). La gran diferencia radica en que la intensidad es la menor de todas las ciudades con 1,19m/s y los días en calma llegan al 43% del año.

Por último la ciudad de Lugo es la segunda con mayor intensidad en torno a 3,07m/s y con dos direcciones muy marcadas: sur y noreste. La diferencia con las ciudades costeras (Vigo y A Coruña) es que presenta un mayor número de días en calma.

¹³ IDAE". (2010). *Guía técnicas condiciones climáticas exteriores de proyecto*. Madrid: IDAE.

Análisis diagrama de Givoni

Por último se realiza una aproximación a la sensación térmica y de confort que se tendrá a lo largo de un año escolar en los edificios de los distintos núcleos de población de la tesis. Para ello se emplea el "diagrama bioclimático de Givoni" que permite a través de la humedad y temperatura del aire establecer las principales estrategias de diseño a tener en cuenta a la hora de rehabilitar los casos de estudio:

A CORUÑA

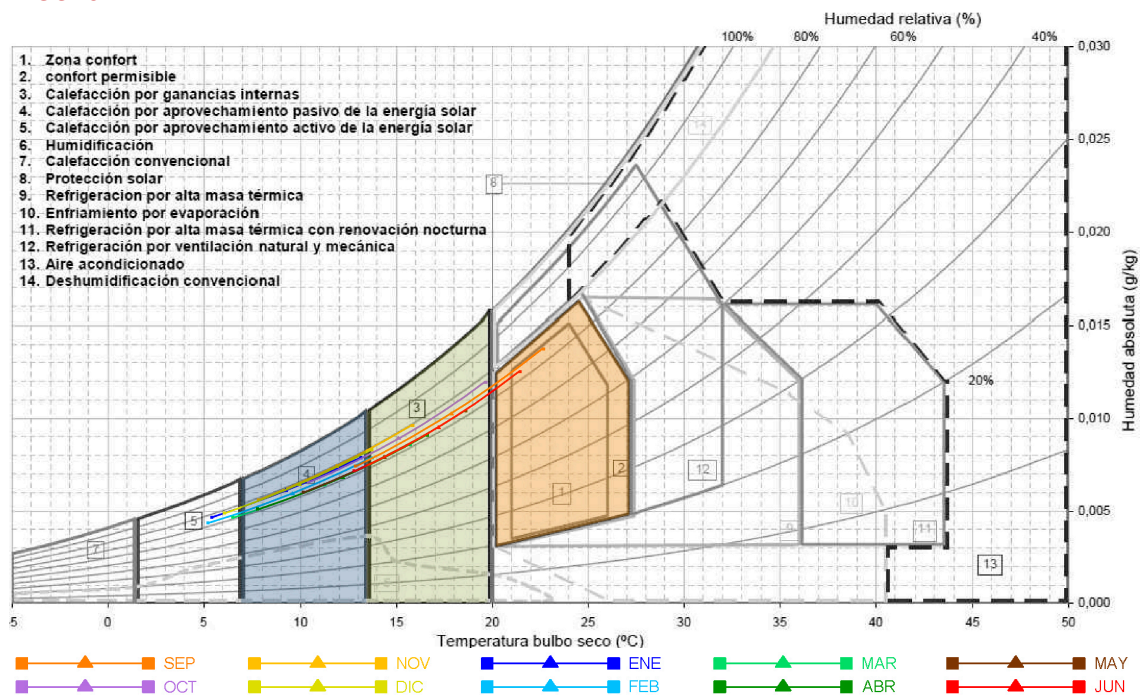


Figura 21_Diagrama de Givoni de la ciudad de A Coruña

VIGO

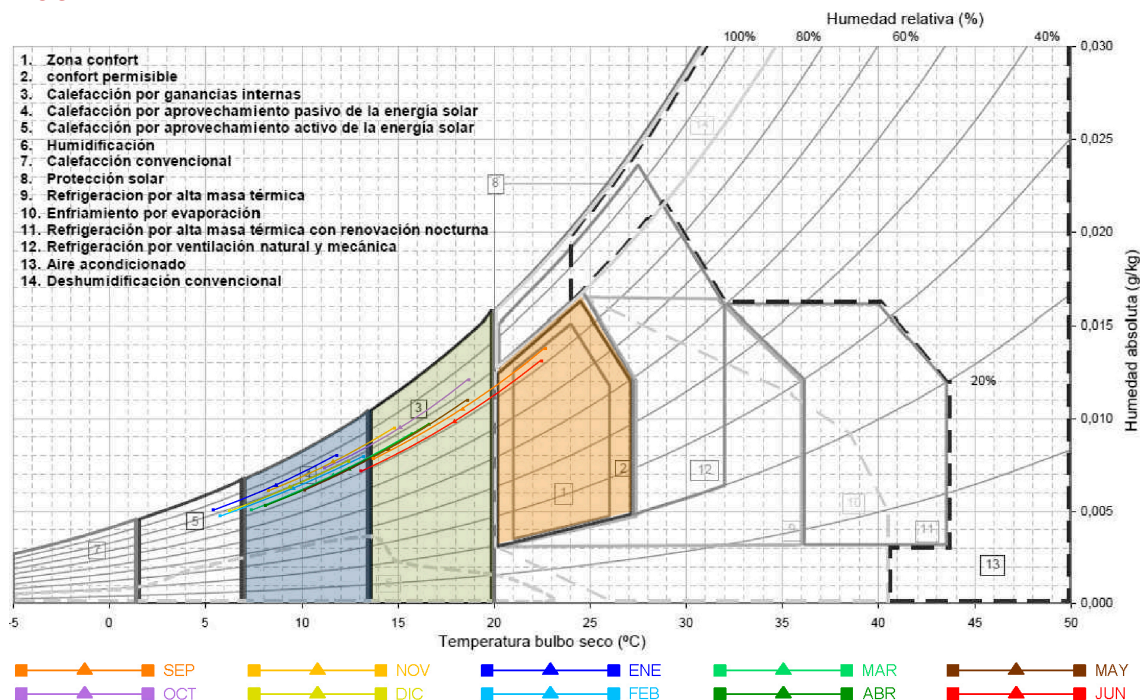


Figura 22_Diagrama de Givoni de la ciudad de Vigo

PONTEVEDRA

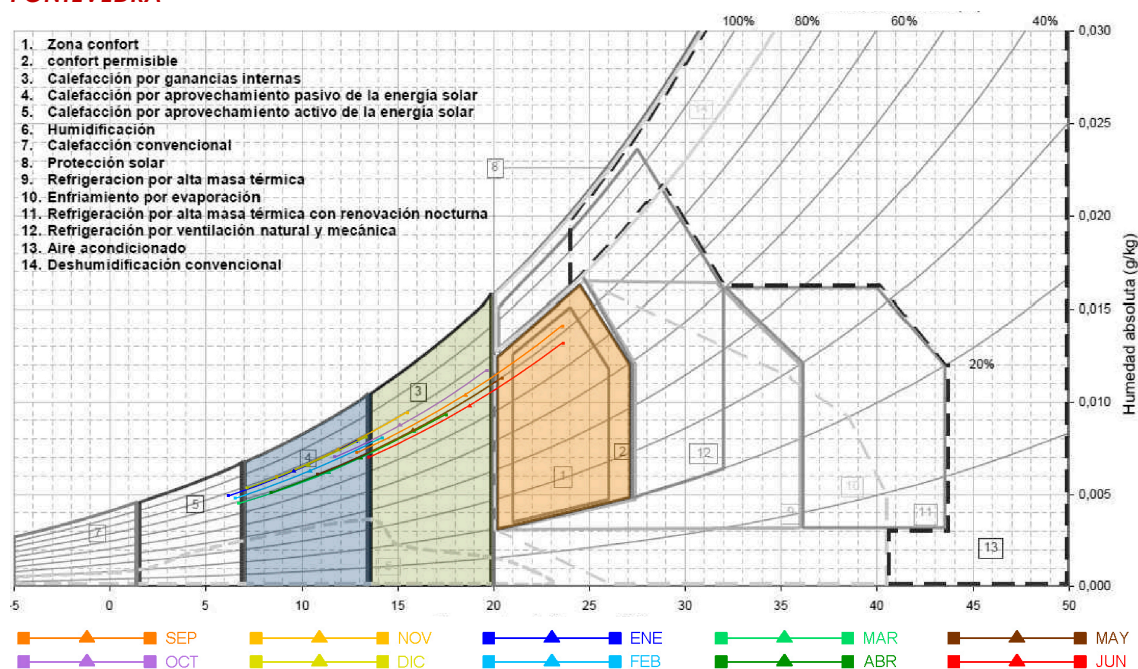


Figura 23_Diagrama de Givoni de la ciudad de Pontevedra
Fuente: elaboración propia

Se analizan los diagramas de manera conjunta de las ciudades de A Coruña, Vigo y Pontevedra debido a que son muy similares y a que pertenecen a la misma zona climática.

Se trata de ciudades con inviernos y veranos suaves donde las estrategias deben estar centradas en medidas de calefacción. Las temperaturas medias máximas en los meses cálidos no superan la zona de confort y por lo tanto no existe necesidad de implementar medidas de refrigeración. Durante todo el año no existe una gran oscilación térmica, pero la humedad relativa del aire es muy alta y por lo tanto las medidas de ventilación natural pueden reducir las situaciones de desconfort en el interior de los centros.

Resulta característico de las ciudades costeras gallegas que la situación de confort en el interior (T^a : 21-26°C y Hr: 20%-80%) tan sólo se alcance en los meses de junio y septiembre. Esto demuestra la suavidad del clima que a su vez tampoco presenta una exigencia muy alta en invierno al no estar próxima a temperaturas negativas.

Los meses de mayo y octubre la combinación de las cargas internas (alumnos, equipos, iluminación...) con medidas pasivas permitiría alcanzar condiciones de confort óptimas en las aulas. En cambio los meses de marzo y abril existen temperaturas medias mínimas en la zona de las estrategias pasivas por lo que sería acertado implementar en los procesos de rehabilitación soluciones de masa térmica y captación. Además sería muy acertado minimizar todo tipo de pérdidas térmicas, para lo cual la mejor medida es mejorar la envolvente térmica existente. Debido a la variabilidad del tiempo, puede ser necesario incluso estos meses tener que recibir el aporte de sistemas activos en ciertos momentos del día.

El resto de meses del año como: noviembre, diciembre, enero y febrero es necesario implementar estrategias activas de calefacción en combinación con las soluciones pasivas anteriormente explicadas para obtener confort en el interior de los centros.

La captación de radiación solar destaca por ser una medida que puede dar importantes beneficios en los meses fríos y tal como se analizó anteriormente las ciudades de Vigo y Pontevedra presenta bastantes días despejados en los que dichas medidas pueden funcionar.

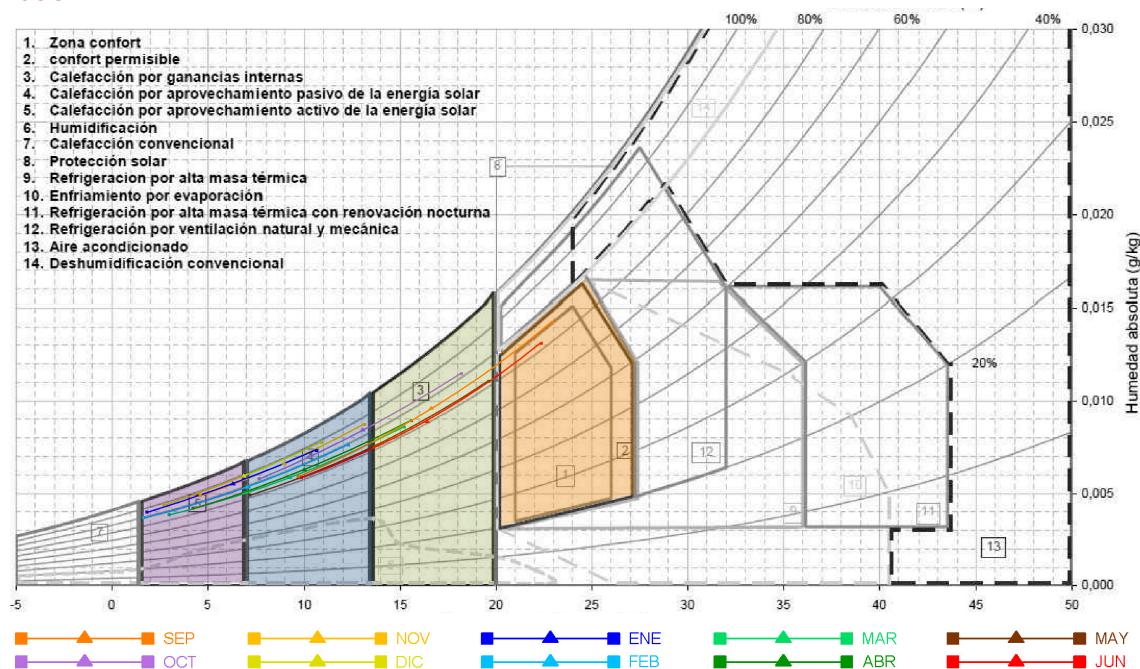
LUGO

Figura 23_Diagrama de Givoni de la ciudad de Lugo

Fuente: elaboración propia

Se trata de la ciudad con mayor severidad climática en invierno con bastantes horas en los meses fríos como Enero, Febrero y Diciembre con temperaturas próximas a los 0°C.

La zona de confort tan sólo se alcanza en los meses de Junio y Septiembre, algo muy similar a ciudades como A Coruña, Vigo y Pontevedra. En el caso de Lugo debido a una mayor oscilación térmica durante el día la estabilidad térmica es menor y las situaciones de disconfort en el interior son más habituales. Una medida para solucionar este problema es plantear cerramientos con masa térmica y aislamiento por el exterior para conseguir estabilidad y conservar las temperaturas en los centros escolares.

La utilización de sistemas de calefacción convencional se extiende más tiempo que en el resto de ciudades analizadas. Es prácticamente necesaria todos los días de los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo la utilización de calefacción convencional, ya que las temperaturas medias mínimas son inferiores a los 5°C y las medias máximas no superan los 15°C.

Otro aspecto negativo, es que durante los meses fríos la humedad relativa es próxima al 90%, lo que provoca que la sensación térmica sea mayor; es un aspecto crítico la sobrehumectación existente en el interior de las aulas provocado por las humedades relativas altas y el gran número de días de lluvias.

El empleo de soluciones pasivas de captación solar en un clima como el de Lugo es complicado, ya que tal y como se ha visto anteriormente el número de días con niebla es muy elevado lo que provoca que la captación no sea efectiva.

Una conclusión que se obtiene mediante la realización de los anteriores climogramas y las visitas a los centros es que no siempre se pueden implementar estrategias de captación en edificios existentes. Esto se debe a que existe una orientación y un organigrama funcional de espacio que condiciona las estrategias. En cambio, las medidas pasivas de conservación de la energía son más fáciles de integrar al poder intervenir sobre la envolvente térmica de los edificios.